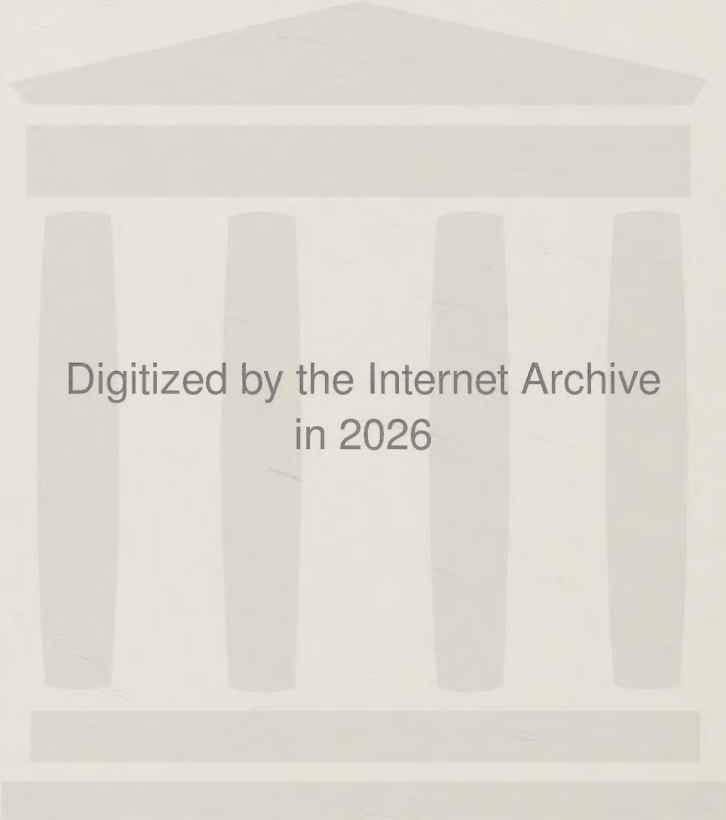


Computertomographische,
plethysmographische
und anthropometrische Messungen
bei Gipsimmobilisation.

Untersuchungen am Oberschenkel
des Menschen

Martin Heinz

Diss.
München
1984



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548306_0019

Aus der
Klinik für Physikalische Medizin
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. H. Drexel

Computertomographische, plethysmographische und
anthropometrische Messungen bei Gipsimmobilisation.
Untersuchungen am Oberschenkel des Menschen.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Martin Heinz
aus
München
Jahr
1984

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Schnizer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 6.12.84

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Methodik
 - 2.1. Versuchspersonen
 - 2.1.1. Alter und Geschlechtsverteilung
 - 2.1.2. Indikation für die Gipsbehandlung
 - 2.1.3. Art und Dauer der Gipsbehandlung
 - 2.2. Physiotherapie
 - 2.3. Computertomographie (CT)
 - 2.3.1. Zeitpunkt, Schnitthöhe und Anzahl der Aufnahmen
 - 2.3.2. Planimetrische Auswertung der CT-Bilder
 - 2.3.3. Berechnung von Einzelflächen und Hautfaltendicke
 - 2.3.4. Berechnung von Mittelwerten
 - 2.4. Umfangmessungen und Hautfaltendickemessungen
 - 2.4.1. Umfang
 - 2.4.2. Hautfaltendicke
 - 2.5. Plethysmographie
 - 2.5.1. Gerätbeschreibung und theoretische Grundlagen
 - 2.5.2. Art, Ablauf und Anzahl der Untersuchungen
 - 2.5.3. Auswertung
 - 2.6. Hauttemperaturmessungen
 - 2.7. Statistische Auswertung
 - 2.7.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
 - 2.7.2. Berechnung von Signifikanz
3. Ergebnisse
 - 3.1. Computertomographie
 - 3.1.1. Prozentuale Zu- und Abnahmen der Einzelflächen und der Hautfaltendicke in den verschiedenen perioden der Immobilisation
 - 3.1.1.1. Tabellen
 - 3.1.1.2. Graphische Darstellung

- 3.1.2. Durchschnittswerte der prozentualen Flächenänderungen des Patientenkollektivs
 - 3.1.2.1. Tabellen
 - 3.1.2.2. Graphische Darstellung
- 3.1.3. Statistische Auswertung
- 3.1.4. Zusammenfassung der CT-Ergebnisse
- 3.2. Umfang- und Hautfaltendickemessungen
 - 3.2.1. Umfangmessungen
 - 3.2.1.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen
 - 3.2.1.2. Differenzen der Mittelwerte $\bar{d\bar{x}}$ und Signifikanzniveau y
 - 3.2.2. Hautfaltendickemessungen
 - 3.2.2.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen
 - 3.2.2.2. Differenzen der Mittelwerte $\bar{d\bar{x}}$ und Signifikanzniveau y
- 3.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse der Umfang- und Hautfaltendickemessungen
- 3.3. Plethysmographie
 - 3.3.1.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen
 - 3.3.1.2. Histogramme
- 3.3.2. Statistische Auswertung
- 3.3.3. Zusammenfassung der Plethysmographie-Ergebnisse
- 3.4. Hauttemperaturmessungen
 - 3.4.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen
 - 3.4.2. Differenzen der Mittelwerte $\bar{d\bar{x}}$ und Signifikanzniveau y
- 3.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse
4. Diskussion
 - 4.1. Computertomographie
 - 4.2. Umfangmessungen
 - 4.3. Hautfaltendickemessungen
 - 4.4. Plethysmographie
 - 4.5. Hauttemperaturmessungen
5. Zusammenfassung
6. Anhang
7. Literaturübersicht

1. Einleitung

Die Ruhigstellung von Extremitäten und Extremitätenabschnitten stellt ein häufiges therapeutisches Vorgehen bei verschiedenartigen Erkrankungen, Unfällen und nach Operationen dar.

Die hier vorliegende Arbeit bemüht sich darum, im Gegensatz zu der bisher meist geübten Praxis einer bloßen Umfangsmessung mit dem Maßband, Methoden zu beschreiben und zu beurteilen, die es erlauben, die als Folge einer Immobilisation mittels Oberschenkelgips eintretenden Veränderungen des Weichteilmantels und der Durchblutung zu objektivieren.

Dahinter steht die Absicht, mittels der aus dieser methodischen Studie gewonnenen Erkenntnisse durch gezielte physikalische Maßnahmen den eintretenden Hypokinesefolgen entgegenzuwirken. Beispielsweise könnte man gestützt auf Tierversuche in Kenntnis des Atrophieverlaufs und des Fasergehalts menschlicher Muskelgruppen eine maßgeschneiderte Elektrotherapie entwickeln.

2. Methodik

2.1. Versuchspersonen

Alle Patienten, die an den Untersuchungen teilnahmen, wurden von der Klinik für Physikalische Medizin im Klinikum Großhadern betreut und behandelt.

2.1.1. Alter und Geschlechtsverteilung

Die Folgen der Immobilisation eines Beines durch Oberschenkelgips wurden an zwölf Patienten untersucht. Vier davon waren Frauen im Alter von 21, 21, 23 und 27 Jahren. Die acht Männer waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen 19, 19, 24, 26, 29, 32, 34 und 43 Jahre alt.

2.1.2. Indikation für die Gipsbehandlung

Alle zwölf Patienten litten an einer Erkrankung im Bereich des Kniegelenks. Die Indikation zur Ruhigstellung war bei

- zwei der Patienten eine operative Reinsertation eines ausgerissenen vorderen Kreuzbandes, bei
- zwei Patienten war eine Operation nach einem Ausriß des vorderen Kreuzbandes kombiniert mit einer Innenmeniskusläsion nötig geworden, jeweils bei einem Patienten wurde operiert und immobilisiert
- wegen eines Außen- und Innenmeniskusschadens mit Ausriß des vorderen Kreuzbandes,
- wegen eines Zustandes nach subtotaler Kniebandzerreißung

- wegen eines Innenbandeinrisses, verbunden mit einem Ausriß des vorderen Kreuzbandes und einer Innenmeniskusläsion,
- wegen einer Elongation des vorderen Kreuzbandes und Innenmeniskusschadens,
- wegen eines Zustandes nach Kreuzbandreinsertation und Chondromalacia patellae und
- wegen eines Innenbandrisses verbunden mit Innenmeniskuseinriß. Bei einer weiteren Patientin wurde das Bein
- wegen eines Meniskusschadens und einer Bakerzyste, beim zwölften Patienten
- wegen eines Meniskusschadens und einer alten Ruptur des vorderen Kreuzbandes eingegipst, ohne daß eine Operation vorausgegangen war.

Bei sieben der zwölf Patienten war die Verletzung bei sportlicher Betätigung aufgetreten, vier Patienten waren im Straßenverkehr verunfallt und bei der Patientin mit der Bakerzyste und dem Meniskusschaden waren die Beschwerden ohne erinnerlichen äußeren Anlaß eingetreten.

2.1.3. Art und Dauer der Gipsbehandlung

Neun der zwölf untersuchten Patienten wurden nach dem in der Orthopädischen Klinik üblichen Gipsbehandlungsschema nach Kniebandoperationen (zwei Wochen Oberschekelliegegips, mit etwa 30° Beugung im Kniegelenk, danach wieder langsam steigende

Belastung des operierten Beines bei über vier Wochen liegender Gipshülse von den Knöcheln bis zur Leiste (Tutor) therapiert. Bei einem Patienten war der Oberschenkellegegips 24 Tage verblieben, weil sich die Wunde infiziert hatte, der anschließende Tutor dafür nur 22 Tage. Ein weiterer Patient hatte lediglich einen Tutor über 18 Tage und eine Patientin über 24 Tage.

2.2. Physiotherapie

Neben der üblichen, einer derartigen Gipsruhigstellung nach Kniebandoperationen folgenden krankengymnastischen Betreuung führten wir bei einigen Patienten bereits während der Immobilisationsphase eine Elektrotherapie der ruhiggestellten Extremität durch. Die Elektrotherapie diente nicht zur Atrophieprophylaxe, sondern lediglich dazu, die Technik der Interferenzstrombehandlung bei liegendem Gips zu erproben. Eine atrophiebeeinflussende Wirkung muß bei der Fragestellung der Arbeit, inwieweit die angewandten und beschriebenen Methoden geeignet sind, Ruhigstellungsfolgen zu objektivieren, unberücksichtigt bleiben.

2.3. Computertomographie (CT)

In den nächsten Abschnitten kommen die verschiedenen Methoden zur Beschreibung, die angewandt wurden, um die Folgen der Immobilisation zu beurteilen. Das aufwendigste verfahren, die Computertomographie und die Auswertung der dabei gewonnenen Querschnittsbilder, steht dabei am Beginn.

2.3.1. Zeitpunkt, Schnitthöhe und Anzahl der Aufnahmen

Wir hatten vorgesehen, bei allen dazu bereiten Versuchspersonen zu drei bestimmten Zeitpunkten der Ruhigstellung, und zwar am ersten Tag nach der Eingipsung, eine Woche danach und unmittelbar vor der Gipsentfernung jeweils in drei, immer durch die selben Stellen gelegte Schnitthöhen mittels des im Röntgen B im Klinikum Großhadern stehenden Somatom-2 Computertomogramme durch beide Oberschenkel zu erhalten. Der Zeitplan konnte aus folgenden Gründen nicht immer exakt eingehalten werden: Bei drei der zwölf Patienten wurde der Gips an einem Freitag angelegt, so daß die ersten Aufnahmen erst am darauffolgenden Montag angefertigt werden konnten, zwei Patientinnen zogen es vor, die computertomographischen Untersuchungen nur an insgesamt zwei Terminen an sich vornehmen zu lassen und außerdem war im Untersuchungszeitraum das Somatom-2 des öfteren defekt, so daß sich die Aufnahmezeitpunkte verschooben.

010.

Die aus diesen Ursachen resultierenden genauen
Aufnahmetermine der CT-Bilder sind der folgenden
Tabelle zu entnehmen:

	1.Aufnahme	2.Aufnahme	3.Aufnahme
Pat. 1	1.Tag	9.Tag	42.Tag
Pat. 2	3.Tag	11.Tag	39.Tag
Pat. 3	3.Tag	21.Tag	-
Pat. 4	1.Tag	43.Tag	-
Pat. 5	1.Tag	9.Tag	49.Tag
Pat. 6	3.Tag	12.Tag	40.Tag
Pat. 7	1.Tag	12.Tag	39.Tag
Pat. 8	2.Tag	25.Tag	-
Pat. 9	1.Tag	13.Tag	43.Tag
Pat. 10	1.Tag	8.Tag	43.Tag
Pat. 11	2.Tag	8.Tag	-
Pat. 12	2.Tag	8.Tag	43.Tag

Dabei entspricht der 1.Tag dem der Eingipsung
folgenden Tag.

Die drei Schnitthöhen wurden so gewählt, daß sowohl
proximale, mittlere als auch distale Abschnitte der
Oberschenkelmuskulatur zur Darstellung kamen und
als Oberrand, Mitte und Unterrand bezeichnet. Um
die Schnitthöhen genau reproduzieren zu können, war
es nicht möglich, auf dem Gips irgendwelche Markie-
rungen vorzunehmen, da man damit rechnen mußte und
auch öfter der Fall eintrat, daß der Gipsverband

011.

während des Beobachtungszeitraums gewechselt wurde. Daher entschlossen wir uns dazu, die Lage der Querschnitte durch ihre Abstände von der Spina iliaca anterior superior der Seite des eingegipsten Beines zu definieren. Zu diesem Zweck tastete man sich den beschriebenen Knochenvorsprung und markierte mit Hilfe eines Bandmaßes, das von diesem Knochenvorsprung parallel zur Längsachse des Oberschenkels an der ventralen Seite des Oberschenkelgipses angelegt wurde, die Schnitthöhe und notierte die gemessenen Abstände von der Spina iliaca ant. sup., um bei allen folgenden Aufnahmen ebenso zu verfahren.

Der Patient lag während dieser Messung und den folgenden CT-Aufnahmen auf dem Rücken und wurde dazu aufgefordert, die Beine eng nebeneinander zu legen und die Füße nicht nach außen wegkippen zu lassen, sondern sie geschlossen zu halten. Die Gelenkstellung des eingegipsten Beines war durch den Gips bestimmt. Durch die damit im Kniegelenk festgelegte Beugung von 30° war bei der Rückenlage des Patienten eine leichte Beugung im Hüftgelenk vorgegeben. Wir bemühten uns darum, die Gelenke des nicht immobilisierten Beines vor der CT-Aufnahme alle in Neutral-Null-Stellung zu bringen.

2.3.2. Planimetrische Auswertung der CT-Bilder

Die auf beschriebene Weise gewonnenen CT-Bilder wurden auf Dia-Format gebracht. In dieser Größe war

012.

es möglich, die Bilder mit einem in der Fotolabor-technik gebräuchlichen Durchlichtprojektor auf ein Meßtablett zu projizieren. Wir verwendeten deshalb einen solchen Projektor, weil er mit einer Feinschraube ausgestattet war, die es erlaubte, die Größe des projizierten Bildes stufenlos zu regeln. So konnten wir den auf den CT-Bildern angegebenen Vergleichsmaßstab, der einer Strecke von 5 cm in natura entsprach, immer auf eine Länge von 2,5 cm auf unser Auswertetablett projizieren. Mit dieser Methode eliminierten wir die auf den Bildern verwendeten verschiedenen Vergrößerungsfaktoren. Auf dem Tablett erschienen jetzt also alle auf den CT-Aufnahmen abgebildeten Objekte in einer Größe, die der Hälfte ihrer natürlichen Größe entsprach.

Zur planimetrischen Auswertung der projizierten Flächen benutzten wir ein aus Meßtablett, Monitor, Recheneinheit und Drucker bestehendes "Videoplan" der Fa. Kontron, Meßgeräte GmbH. Umfährt man bei diesem System auf dem nach dem Magnetostriktionsprinzip arbeitenden Meßtablett mit einem zum Gerät gehörenden Auswertestift eine bestimmte Fläche, so wird die umfahrene Fläche dabei gemessen und berechnet. Das Auswertesystem war dabei so programmiert, daß der sich durch die Projektion auf halbe natürliche Größe gegebene Verkleinerungsfaktor von zwei berücksichtigt wurde und die Größe der umfahrenden Fläche in ihrer in-vivo-Größe auf dem Monitor erschien

013.

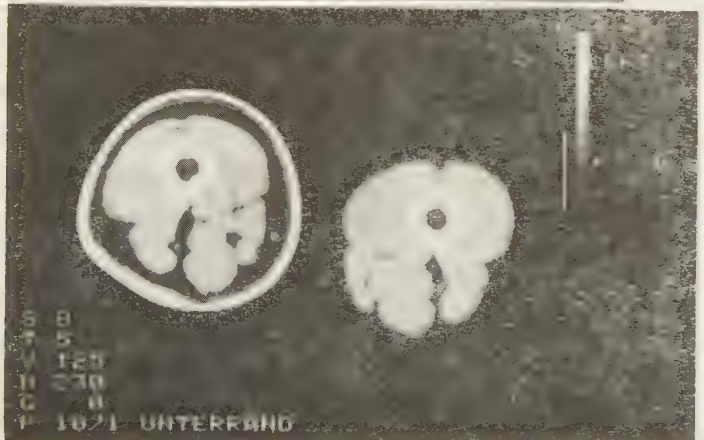
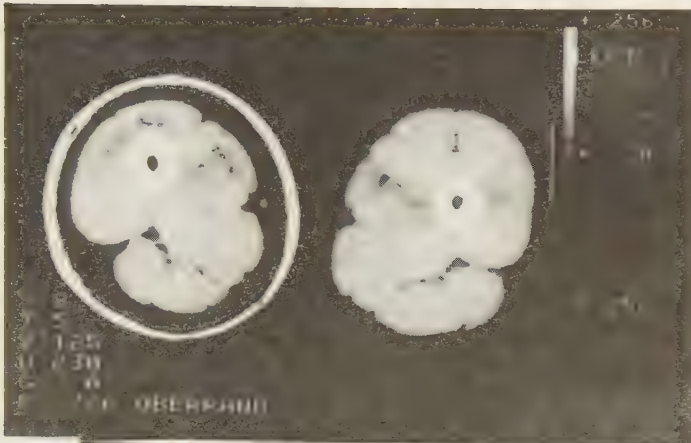


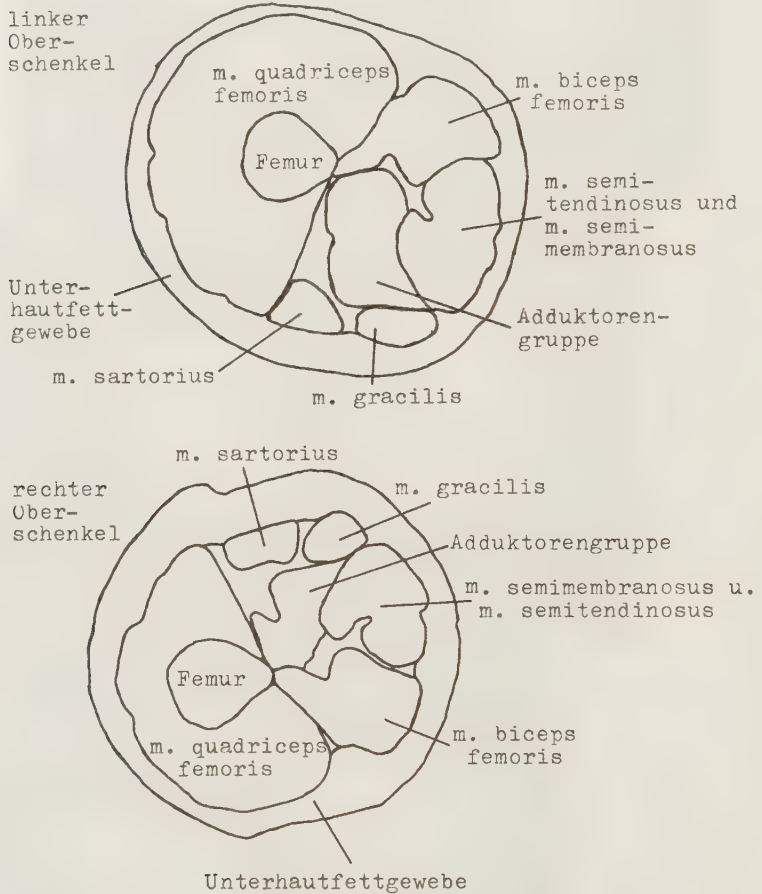
Abb. 1:

Die 3 computer-
tomographischen
Schnittebenen
an einem
Aufnahmetermin

014.

Abb. 2 :

Planimetrisches Auswertungsbild eines computer-
tomographischen Querschnitts durch beide Ober-
schenkel



Maßstab: 1 : 2

015.

und vom Schreiber ausgedruckt wurde.

Auf diese Weise ermittelten wir auf jeder CT-Aufnahme, jeweils für das "kranke" und "gesunde" Bein, die Beträge folgender Flächen (siehe dazu Abbildung Nr. 1 und Nr. 2):

1. die Fläche des Gesamtquerschnitts,
2. die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche,
3. Femurquerschnittsfläche
4. Querschnittsfläche des musculus quadriceps femoris
5. - " - des musculus sartorius
6. - " - des musculus gracilis
7. - " - der Adduktorengruppe
8. gemeinsame Querschnittsfläche von musculus semimembranosus und musculus semitendinosus
9. Querschnittsfläche des musculus biceps femoris

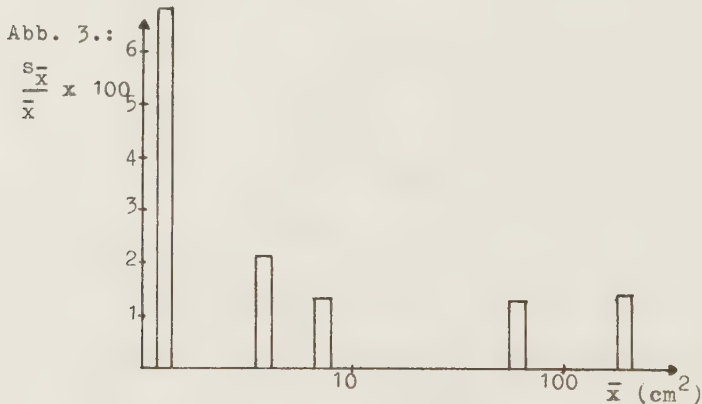
Um die Genauigkeit dieser Auswertungsmethode zu überprüfen, wurde der selbe Meßvorgang, d.h. das Umfahren einer bestimmten Fläche an insgesamt fünf Flächen je zwanzigmal wiederholt. Für jede dieser Flächen in unterschiedlichen Größenordnungen wurde dann der aus 20 Einzelmessungen resultierende Mittelwert $\bar{x}$ gebildet und die Standardabweichung $s_{\bar{x}}$ (siehe dazu auch 2.6.1.) als Maß für die Meßgenauigkeit bestimmt. Um den relativen Fehler abzuschätzen, bezogen wir den Absolutwert der Standardabweichung auf den Absolutwert des zugehörigen Mittelwerts

$$\left(\frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100 \right).$$

016.

Mittelwerte	Standardabweichung	relativer Fehler
$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100$
195,86 cm ²	2,76 cm ²	1,41 %
62,37 cm ²	0,81 cm ²	1,30 %
7,27 cm ²	0,095 cm ²	1,31 %
3,85 cm ²	0,082 cm ²	2,13 %
1,27 cm ²	0,087 cm ²	6,82 %

Aus dieser Tabelle läßt sich folgende Abbildung aufstellen:



Es zeigt sich, daß der relative Fehler für Flächen über 5 cm² unter 1,5 % beträgt. Liegen die gemessenen Flächen unter 5 cm², so steigen die relativen Meßfehler mit abnehmender Meßgröße an. Der Absolutwert dieser Meßfehler, der der Standardabweichung entspricht, liegt aber unter 0,1 cm². Es läßt sich somit folgern, daß die angewandte planimetrische Auswertungsmethode dazu geeignet ist, Flächen zu messen,

017.

die in den uns interessierenden und von uns beurteilten Größenbereichen liegen.

2.3.3. Berechnung von Einzelflächen und Hautfaltendicke

Die durch direkte Messung gewonnenen Größen (siehe 1. bis 9. unter 2.3.2.) zogen wir zu einer Berechnung von weiteren, von uns für eine Beurteilung der Immobilisationsfolgen für sinnvoll erachteten Werte heran:

10. Durch Addition sämtlicher Querschnittsflächen einzelner Muskeln kamen wir zu einem Wert für die Querschnittsfläche der gesamten Muskulatur. (In Klammern erfolgt jetzt immer die Darstellung der dazu nötigen Rechenoperation, indem die Zahlen stellvertretend für die unter 2.3.2 und 2.3.3. bezeichneten Flächen stehen, hier also:

$$= 4. + 5. + 6. + 7. + 8. + 9.).$$

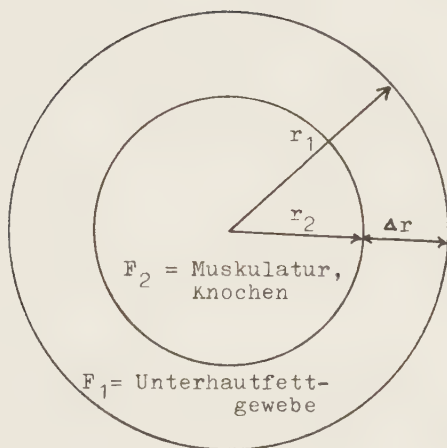
11. Die Subtraktion der Femurfläche von der durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossenen Fläche ergibt einen Wert, der anatomisch alle Muskeln und das dazwischengelegene Binde- und Fettgewebe umfaßt (= 2. - 3.).

12. Eine Gesamtfläche aller Muskeln am Oberschenkel ausgenommen den m. quadriceps femoris (= 5. + 6. + 7. + 8. + 9.).

13. Indem wir von der Fläche des Gesamtquerschnitts die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche abzogen, ermittelten wir einen Wert für

die Fläche, die zwischen äußeren Hautumfang und Muskulatur liegt, morphologisch aus Epidermis, Cutis und Subcutis besteht und im folgenden nach ihrem Hauptbestandteil kurz als Unterhautfettgewebe bezeichnet wird (= 1. - 2.).

14. Ein als intermuskuläres Binde- und Fettgewebe bezeichneter Anteil am Querschnittsbild des Beines wurde durch Subtraktion der Femurfläche und der Querschnittsflächen sämtlicher Einzelmuskeln von der durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossenen Fläche errechnet (= 11. - 10.).
15. Unter Gesamtbinde- und Fettgewebe verstehen wir die Summe aus den Flächen von Unterhautfettgewebe und intermuskulärem Binde- und Fettgewebe (= 13. + 14.).
16. Um den unter 13. definierten Flächenwert für das sog. Unterhautfettgewebe anschaulicher zu machen und um ihn mit einer Messung der Hautfaltendicke korrelieren zu können, entschlossen wir uns zu folgender Berechnung der Hautfaltendicke ($= \Delta r$):
Unter der Annahme eines kreisrunden Querschnitts des Beines und des äußeren Muskelumfanges gilt:
 F_1 = Gesamtquerschnittsfläche
 F_2 = die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche, wobei
 r_1 bzw. r_2 die zu F_1 bzw. F_2 gehörigen Radien darstellen.



$$F = r^2 \pi \quad (\text{Formel für Kreisfläche})$$

$$\Rightarrow r^2 = \frac{F}{\pi}$$

$$\Rightarrow r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

$$\Delta r = r_1 - r_2$$

$$\Rightarrow \Delta r = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} - \sqrt{\frac{F_2}{\pi}} \quad (f)$$

Da die Flächenwerte F_1 und F_2 bekannt sind, ist der Wert für Δr , d.h. die Hautfaltendicke nach der Formel (f) berechenbar.

Diese sechzehn verschiedenen erläuterten Werte bezeichnen wir als Rohdaten, die auf zwei Stellen hinter dem Komma in Quadratzentimeter bestimmt werden. Die unter 16. geschilderte Hautfaltendicke wird auf den Millimeter genau berechnet.

Um nun die als Folge der Immobilisation auftretenden Flächenänderungen aufzudecken, bildeten wir Differenzen zwischen den sich entsprechenden Rohdaten an den verschiedenen Aufnahmeterminen, d.h.

- zwischen der 1. und 2. Aufnahme, was der 1.Periode entspricht,
- zwischen der 2. und 3. Aufnahme, was der 2.Periode entspricht und
- zwischen der 1. und 3. Aufnahme, was der Gesamtperiode der Immobilisation entspricht,

jeweils getrennt für die verschiedenen Schnitthöhen, d.h. für Oberrand, Mitte und Unterrand und jeweils für gesundes und krankes Bein.

Mit Hilfe dieser Differenzen ermittelten wir für die fünfzehn Flächenwerte und für die Hautfaltendicke die prozentuale Änderung (Zu- oder Abnahme) während der verschiedenen Perioden der Ruhigstellung. Zur leichteren Nachvollziehbarkeit der beschriebenen Methode sind nachfolgend sämtliche Rohdaten, Differenzen und Prozentwerte exemplarisch für einen Patienten aufgeführt. Die Werte für alle anderen Patienten finden sich im Anhang. Dabei bedeutet ein Pluszeichen eine Zunahme und ein Minuszeichen eine Abnahme der jeweiligen Fläche, bzw. Hautfaltendicke.

021.

Rohdaten der Flächenwerte und der Hautfaltendicke an den drei Aufnahmeterminen. Die Bedeutung der Rubriken 1. bis 16. finden sich vorstehend in 2.3.2. und 2.3.3.. Maßeinheit ist für 1. bis 15. cm^2 und für 16. cm .

a. Oberrand

	1.CT: 1.Tag	2.CT: 9.Tag	3.CT: 49.Tag
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	222,92 / 234,10	202,50 / 191,09	224,07 / 214,25
2.	185,91 / 200,22	166,39 / 157,04	181,38 / 162,22
3.	10,28 / 10,18	7,98 / 8,68	9,04 / 9,66
4.	81,49 / 95,90	74,77 / 74,05	79,34 / 70,93
5.	5,39 / 4,30	4,53 / 4,07	4,43 / 4,16
6.	5,50 / 6,22	5,33 / 5,09	5,81 / 6,19
7.	9,99 / 17,11	19,63 / 19,27	34,56 / 27,11
8.+9.	57,14 / 52,81	42,77 / 37,83	37,38 / 31,66
10.	159,51 / 176,34	147,03 / 140,31	161,52 / 140,05
11.	175,63 / 190,04	158,41 / 148,36	172,34 / 152,56
12.	78,02 / 80,44	72,26 / 66,26	82,18 / 69,12
13.	37,01 / 33,88	36,11 / 34,05	42,69 / 52,03
14.	16,12 / 13,70	11,38 / 8,05	10,82 / 12,51
15.	53,13 / 47,58	47,49 / 42,10	53,51 / 64,54
16.	0,73 / 0,65	0,75 / 0,73	0,85 / 1,07

Die Rubriken 8. und 9. wurden deshalb zusammengefaßt, weil sich die Querschnittsflächen des m. biceps femoris einerseits und des m. semimembranosus und des m. semitendinosus andererseits nicht gegeneinander abgrenzen ließen.

b. Mitte

	1.CT: 1.Tag	2.CT: 9.Tag	3.CT: 49.Tag
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	168,55 / 188,65	178,99 / 178,82	186,30 / 162,71
2.	140,09 / 161,85	147,11 / 146,95	153,10 / 125,52
3.	10,41 / 10,93	8,98 / 9,24	8,57 / 8,54
4.	63,12 / 74,04	65,91 / 67,55	71,18 / 50,40
5.	4,05 / 3,86	5,04 / 3,67	4,57 / 3,31
6.	2,45 / 2,74	3,67 / 3,78	4,35 / 3,38
7.	- / -	3,86 / 8,41	9,11 / 8,59
8.+9.	43,35 / 53,27	48,20 / 44,41	44,11 / 40,38
10.	112,97 / 133,91	126,68 / 127,82	133,32 / 106,06
11.	129,68 / 150,92	138,13 / 137,71	144,53 / 116,98
12.	49,85 / 59,87	60,77 / 60,27	62,14 / 55,66
13.	28,46. / 26,80	31,88 / 31,87	33,20 / 37,19
14.	16,71 / 17,01	11,45 / 9,89	11,21 / 10,92
15.	45,17 / 43,81	43,33 / 41,76	44,41 / 48,11
16.	0,65 / 0,57	0,71 / 0,71	0,72 / 0,88

Die Rubrik 7. (Adduktorengruppe) fehlt bei der 1.Aufnahme, weil auf dem Computertomogramm keine Adduktoren sichtbar waren. 8. und 9. wurde aus den gleichen Gründen wie beim Oberrand zusammengefaßt.

023.

c. Unterrand

	1.CT: 1.Tag	2.CT: 9.Tag	3.CT: 49.Tag
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	151,59 / 170,05	149,36 / 161,36	159,56 / 140,90
2.	122,18 / 141,00	119,35 / 128,32	129,11 / 107,52
3.	11,99 / 11,99	9,51 / 9,80	9,35 / 10,21
4.	53,83 / 66,09	53,42 / 60,42	57,40 / 39,06
5.	4,62 / 4,43	3,86 / 3,15	4,42 / 3,48
6.	1,37 / 2,25	1,91 / 2,67	2,99 / 2,41
7.	- / -	- / -	- / -
8.	24,12 / 25,09	22,77 / 22,00	23,47 / 20,76
9.	9,14 / 13,69	13,16 / 15,51	17,03 / 16,74
10.	93,08 / 111,55	95,12 / 103,75	105,31 / 82,45
11.	110,19 / 129,01	109,84 / 118,56	119,76 / 97,31
12.	39,25 / 45,46	41,70 / 43,33	47,91 / 43,39
13.	29,41 / 29,05	30,01 / 33,04	30,45 / 33,38
14.	17,11 / 17,46	14,72 / 14,81	14,45 / 14,86
15.	46,52 / 46,51	44,73 / 47,85	44,90 / 48,24
16.	0,71 / 0,66	0,73 / 0,78	0,72 / 0,85

Auf diesem distalen Schnitt durch den Oberschenkel (Unterrand) wurden keine Adduktoren mehr erfaßt, da sie weiter proximal am Oberschenkel zu liegen kommen. Aus diesem Grund entfällt die Rubrik 7..

024.

Differenzen (Zu- (+), bzw. Abnahmen (-)) in den verschiedenen Perioden der Ruhigstellung. Absolutwerte der Flächenänderungen in cm^2 . Hautfaltendicke (16.) in cm.

a. Oberrand

	1.Periode: (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	-20,42 / -43,01	+21,57 / +23,16	+1,15 / -19,85
2.	-19,52 / -43,18	+14,99 / +5,18	-4,53 / -38,00
3.	-2,30 / -1,50	+1,06 / +0,98	-1,24 / -0,52
4.	-6,72 / -21,85	+4,57 / -3,12	-2,15 / -24,97
5.	-0,86 / -0,23	-0,10 / +0,09	-0,96 / -0,14
6.	-0,17 / -1,13	+0,48 / +1,10	+0,31 / -0,03
7.	+9,64 / +2,16	+14,93 / +7,84	+24,57 / +10,00
8.+9.	-14,37 / -14,98	-5,39 / -6,17	-19,76 / -21,15
10.	-12,48 / -36,03	+14,49 / -0,26	+2,01 / -36,29
11.	-17,22 / -41,68	+13,93 / +4,20	-3,29 / -37,48
12.	-5,76 / -14,18	+9,92 / +2,86	+4,16 / -11,32
13.	-0,90 / +0,17	+6,58 / +17,98	+5,68 / +18,15
14.	-4,74 / -5,65	-0,56 / +4,46	-5,30 / -1,19
15.	-5,64 / -5,48	+6,02 / +22,44	+0,38 / +16,96
16.	+0,02 / +0,08	+0,10 / +0,34	+0,12 / +0,42

025.

b. Mitte

	1.Periode: (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	+10,44 / -9,83	+7,31 / -16,11	+17,75 / -25,94
2.	+7,02 / -14,90	+5,99 / -21,43	+13,01 / -36,33
3.	-1,43 / -1,69	-0,41 / -0,70	-1,84 / -2,39
4.	+2,79 / -6,49	+5,27 / -17,15	+8,06 / -23,64
5.	+0,99 / -0,19	-0,49 / -0,36	+0,52 / -0,55
6.	+1,22 / +1,04	+0,68 / -0,40	+1,90 / +0,64
7.	+3,86 / +8,41	+5,25 / +0,18	+9,11 / +8,59
8.+9.	+4,85 / -8,86	-4,09 / -4,03	+0,76 / -12,89
10.	+13,71 / -6,09	+6,64 / -21,76	+20,35 / -27,85
11.	+8,45 / -13,21	+6,40 / -20,73	+14,85 / -33,94
12.	+10,92 / +0,40	+1,37 / -4,61	+12,29 / -4,21
13.	+3,42 / +5,07	+1,32 / +5,32	+4,74 / +10,39
14.	-5,26 / -7,12	-0,24 / +1,03	-5,50 / -6,09
15.	-1,84 / -2,05	+1,08 / +6,35	-0,76 / +4,30
16.	+0,06 / +0,14	+0,01 / +0,17	+0,07 / +0,31

c. Unterrand

	1.Periode (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	-2,23 / -8,69	+10,20 / -20,46	+7,97 / -29,15
2.	-2,83 / -12,86	+9,76 / -20,80	+6,93 / -33,48
3.	-2,48 / -2,19	-0,16 / +0,41	-2,64 / -1,78
4.	-0,41 / -5,67	+3,98 / -21,36	+3,57 / -27,03
5.	-0,76 / -1,28	+0,56 / +0,33	-0,20 / -0,95
6.	+0,54 / +0,42	+1,08 / -0,26	+1,62 / +0,16
7.	- / -	- / -	- / -
8.	-1,35 / -3,09	+0,70 / -1,24	-0,65 / -4,33
9.	+4,02 / +1,82	+3,87 / +1,23	+7,89 / +3,05
10.	+2,04 / -7,80	+10,19 / -21,30	+12,23 / -29,10
11.	-0,35 / -10,45	+9,92 / -21,25	+9,57 / -31,70
12.	+2,45 / -2,13	+6,21 / +0,06	+8,66 / -2,07
13.	+0,60 / +3,99	+0,44 / +0,34	+1,04 / +4,33
14.	-2,39 / -2,65	-0,27 / +0,05	-2,66 / -2,60
15.	-1,79 / +1,34	+0,17 / +0,39	-1,62 / +1,73
16.	+0,02 / +0,12	-0,01 / +0,07	+0,01 / +0,19

027.

Prozentwerte der Flächenänderungen bzw. der Hautfalten-
dicke in den verschiedenen Perioden der Ruhigstellung.

(%)

a. Oberrand

	1.Periode: (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	-9,2 / -18,4	+10,7 / +12,1	+0,5 / -8,5
2.	-10,5 / -21,6	+9,0 / +3,3	-2,4 / -19,0
3.	-22,4 / -14,7	+13,3 / +11,3	-12,1 / -5,1
4.	-8,2 / -22,8	+6,1 / -4,2	-2,6 / -26,0
5.	-16,0 / -5,3	-2,2 / +2,2	-17,8 / -3,3
6.	-3,1 / -18,2	+9,0 / +21,6	+5,6 / -0,5
7.	+96,5 / +12,6	+76,1 / +40,7	+245,9 / +58,4
8.+9.	-33,6 / -28,4	-12,6 / -16,3	-34,6 / -40,0
10.	-7,8 / -20,4	+9,9 / -0,2	+1,3 / -20,6
11.	-9,8 / -21,9	+8,8 / +2,8	-1,9 / -19,9
12.	-7,4 / -17,6	+13,7 / +4,3	+5,3 / -14,1
13.	-2,4 / + 0,5	+18,2 / +52,8	+15,3 / +53,6
14.	-29,4 / -41,2	-4,9 / +55,4	-32,9 / -8,7
15.	-10,6 / -11,5	+12,7 / +53,3	+0,7 / +35,6
16.	+2,7 / +12,3	+13,3 / +46,6	+16,4 / +64,6

(%)

b. Mitte

	1.Periode: (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	+6,2 / -5,2	+4,1 / -9,0	+10,5 / -13,8
2.	+5,0 / -9,2	+4,1 / -14,6	+9,3 / -22,4
3.	-13,7 / -15,5	-4,6 / -7,6	-17,7 / -21,9
4.	+4,4 / -8,8	+8,0 / -25,4	+12,8 / -31,9
5.	+24,4 / -4,9	-9,3 / -9,8	+12,8 / -14,2
6.	+49,8 / +38,0	+18,5 / -10,6	+77,6 / +23,3
7.	- / -	+136,0 / +2,1	- / -
8.+9.	+11,2 / -16,6	-8,5 / -9,1	+1,8 / -24,2
10.	+12,1 / -4,5	+5,2 / -17,0	+18,0 / -20,8
11.	+6,5 / -8,8	+4,6 / -15,1	+11,5 / -22,5
12.	+21,9 / +0,7	+2,3 / -7,6	+24,6 / -7,0
13.	+12,0 / +18,9	+4,1 / +16,7	+16,7 / +38,8
14.	-31,5 / -41,9	-2,1 / +10,4	-32,9 / -36,4
15.	-4,1 / -4,7	+2,5 / +15,2	-1,7 / +8,9
16.	+9,2 / +24,6	+1,4 / +23,9	+10,8 / +54,4

(%)

c. Unterrand

	1.Periode: (8 Tage)	2.Periode: (40 Tage)	Gesamtperiode: (48 Tage)
	gesund / krank	gesund / krank	gesund / krank
1.	-1,5 / -5,1	+6,8 / -12,7	+5,3 / -17,1
2.	-2,3 / -9,0	+8,2 / -16,2	+5,7 / -23,7
3.	-20,7 / -18,3	-1,7 / +4,2	-22,0 / -14,8
4.	-0,8 / -8,6	+7,5 / -35,4	+6,6 / -40,9
5.	-16,5 / -28,9	+14,5 / +10,5	-4,3 / -21,4
6.	+39,4 / +18,7	+54,3 / -9,7	+118,2 / +7,1
7.	- / -	- / -	- / -
8.	-5,6 / -12,3	+3,1 / -5,6	-2,7 / -17,3
9.	+44,0 / +13,3	+29,4 / +7,9	+86,3 / +22,3
10.	+2,2 / -7,0	+10,7 / -20,5	+13,1 / -26,1
11.	-0,3 / -8,1	+9,0 / -17,9	+8,7 / -24,6
12.	+6,2 / -4,7	+14,9 / + 0,1	+22,1 / -4,6
13.	+2,0 / +13,7	+1,5 / +1,0	+3,5 / +14,9
14.	-14,0 / -15,2	-1,8 / +0,3	-15,5 / -14,9
15.	-3,8 / +2,9	+0,4 / +0,8	-3,5 / + 3,7
16.	+2,8 / +18,2	-1,4 / +9,0	+1,4 / +28,8

(%)

2.3.4. Berechnung von Mittelwerten

Für acht sinnvoll erscheinende Rubriken,

1. Gesamtquerschnittsfläche,
2. die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche,
3. Gesamtmuskelfläche,
4. Querschnittsfläche des m. quadriceps femoris,
5. Querschnittsfläche aller am Oberschenkel gelegenen Muskeln mit Ausnahme des m. quadriceps femoris,
6. Querschnittsfläche des Unterhautfettgewebes,
7. Querschnittsfläche des intermuskulären Bindegewebes und Fettgewebes,
8. Hautfaltendicke,

wurden die Mittelwerte aus den prozentualen Änderungen in den jeweiligen Immobilisationsperioden aller Patienten, getrennt für krankes und gesundes, d.h. für immobilisiertes und nicht-immobilisiertes Bein, und getrennt für Oberrand, Mitte und Unterrand, gebildet. Die Numerierung dieser Rubriken weicht von der Numerierung der sechzehn Kohdaten in 2.3.2. und 2.3.3. ab.

Als letzte Rechenoperation bestimmten wir noch die Durchschnittswerte für die gerade geschilderten Rubriken und Perioden aus den drei Schnitten, also aus Oberrand, Mitte und Unterrand für beide Beine.

2.4. Umfangsmessungen und Hautfaltendickemessungen

Außer den computertomographischen Messungen wurden als Methode zur Beurteilung des Weichteilmantels der Beine Umfangsmessungen und Hautfaltendickemessungen ausgeführt. Es wurde versucht, baldmöglichst nach der Gipsabnahme, wo dies möglich war, auch schon vor der Eingipsung (Die meisten Patienten bekamen wir allerdings erst mit schon liegendem Gipsverband zu Gesicht, da die Kniebandoperation mit unmittelbar folgender Gipsruhigstellung als Notfalleingriff vorgenommen worden war.), eine Woche nach Gipsentfernung und in ein paar Fällen auch noch in längerem Abstand nach der Gipsabnahme derartige Untersuchungen durchzuführen. Die Messungen wurden zeitlich immer mit den Plethysmographien (siehe 2.5.) gekoppelt, die genauen Termine und ihre zeitlichen Abstände zur Immobilisationsperiode sind der Einteilung bei der Darstellung der Plethysmographie-Ergebnisse in 3.3. zu entnehmen. Immer wurden gleichzeitig beide Beine untersucht, um einen Seitenvergleich durchführen zu können.

2.4.1. Umfang

Während der Patient auf dem Rücken lag und alle Gelenke der unteren Extremität in Neutral-Null-Stellung standen, maßen wir den Umfang des rechten und linken Beins jeweils an folgenden Stellen:

1. 20 cm proximal der Patellaoberkante
2. 10 cm proximal der Patellaoberkante
3. über dem medialen Kniegelenkspalt
4. 22 cm distal der Patellaoberkante

Um die Meßstelle festzulegen, legten wir das Bandmaß, mit dem wir dann auch die Umfangsmessungen ausführten, immer an die ventrale Beinseite an und markierten uns so die genauen Abstände von der Patella-oberkante.

2.4.2. Hautfaltendicke

Für die Bestimmung der Hautfaltendicke verwendeten wir ein speziell für diesen Zweck gefertigtes Gerät der "Cambridge Scientific Industries, Cambridge, Md.".

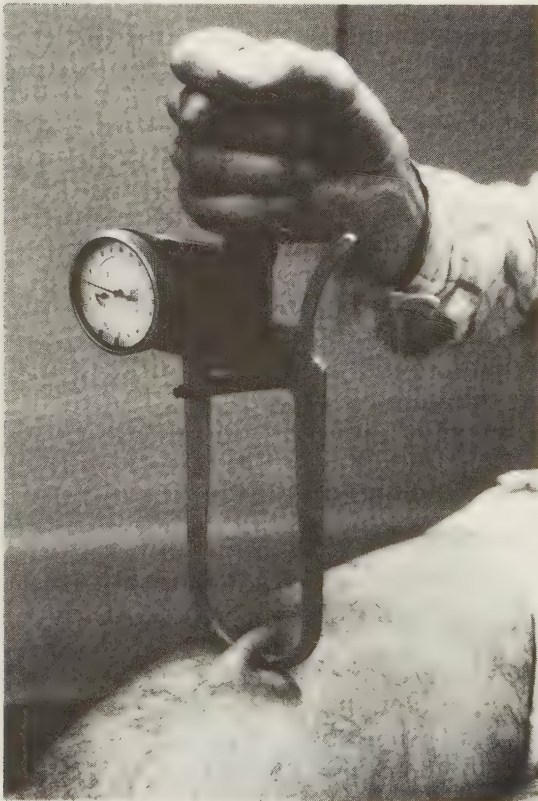


Abb. 4:
Hautfalten-
dickemeß-
gerät in
Aktion

Bei dem Meßvorgang mit diesem Gerät wird die vom Untersucher abgehobene Hautfalte zwischen zwei Klemmbacken einer Drehzwinge eingezwickelt. Ein Federzug gewährleistet dabei, daß die Klemmbacken in dem geeichten Meßbereich immer den gleichen Druck auf die Hautfalte ausüben. An einer Rundskala läßt sich der Abstand der beiden Klemmbacken und damit die Hautfaltendicke auf 0,1 mm genau ablesen. Wir bestimmten so an jedem Bein an der ventralen Oberschenkelseite 20 cm proximal und an der medialen und lateralen Unterschenkelseite 22 cm distal des Patellaoberrands die Hautfaltendicke. Bei einigen Patienten war das Subkutangewebe so straff, daß es nicht möglich war, eine Hautfalte abzuheben und die Messung durchzuführen.

2.5. Plethysmographie

Als Methode zur Beurteilung der Auswirkungen der Gipsbehandlung auf das arterielle und venöse Gefäßsystem des ruhiggestellten Beines führten wir plethysmographische Messungen durch.

2.5.1. Gerätebeschreibung und theoretische Grundlagen
 wir bedienten uns eines "Periquant 3000" vom
 Labor für Physikalische Medizin u. G. Gutmann.
 Dieser 2 - kanal - Plethysmograph erlaubte uns
 eine gleichzeitige Durchblutungsmessung an bei-
 den unteren Extremitäten und arbeitet nach dem
 Prinzip der Venenverschluß-Plethysmographie
 (75).

Dabei wird von einer Pneumatik-Einheit des Ge-
 rätes durch aufblasbare Manschetten mit 12 cm
 Breite (11), die in unserem Fall um die Ober-
 schenkel lagen, mittels eines subdiastolischen
 Drucks ein venöser Stau erzeugt. Durch den ar-
 teriellen Bluteinstrom, der in den ersten Se-
 kunden nach Staubeginn frei von gegenregulato-
 rischen Einflüssen ist (7,27,36), und fehlenden
 venösen Ausstrom vergrößert sich distal der
 Staumanschette das Volumen des gestauten Extre-
 mitätenabschnitts. Ein Dehnungsmeßstreifen, der
 um diesen Extremitätenabschnitt in einer leich-
 ten Vordehnung geschnallt wird, wird durch die
 von der Volumenzunahme herrührende Umfangsver-
 größerung ausgezogen. So wird in dem Dehnungs-
 meßstreifen ein dünnes, mit Quecksilber gefüll-
 tes Silikonschläuchlein gedehnt und die quer-
 schnittsfläche des eingelassenen Quecksilbers
 verkleinert. Der elektrische Widerstand für
 einen durch das Quecksilber fließenden Strom steigt

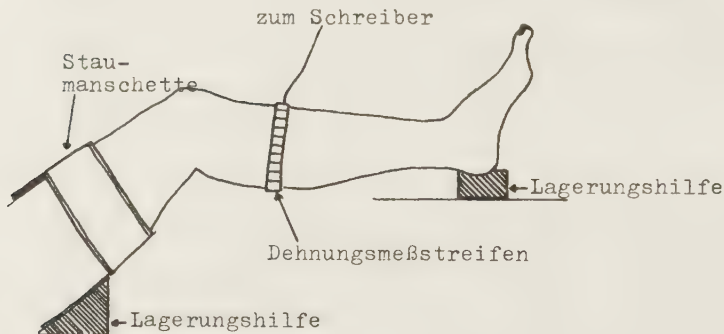
damit an. Zu jedem der zwei Meßeinheiten des Geräts gehörte noch ein Kompensationsschreiber, der die durch den Bluteinstrom bedingte Leitfähigkeitsminderung im Dehnungsmeßstreifen bei geschwindigkeitskonstantem Papiervorschub in ihrem zeitlichen Verlauf aufzeichnete.

2.5.2. Art, Ablauf und Anzahl der Untersuchungen

Alle mit dem Plethysmographen durchgeführten Messungen gingen auf folgende Weise vor sich: Nachdem sich der Patient auf die Untersuchungsfläche begeben hatte, achteten wir auf eine entspannte, sachgerechte Lagerung (16). Die Staumanschetten wurden um die Oberschenkel und die Dehnungsmeßstreifen um den größten Umfang der Wadenmuskulatur gelegt. Dabei durften die Kniekehlen und die Unterschenkel bis hinab zu den Fersen nirgendwo aufliegen. Nach zehnminütiger Ruhelage, während der wir am Arm nach Riva-Rocci den Blutdruck bestimmten, begannen wir mit dem Meßprogramm. Um zu einem Wert für die Ruhedurchblutung zu kommen, gingen wir so vor: Nach dem Einschalten des Papiervorschubs stauten wir mit Hilfe eines Drucks von 60 mm Hg in den Oberschenkelmanschetten über zehn Sekunden den venösen Abstrom und verfolgten die Schreiberbewegungen. Mit einem Abstand von einer Minute zwischen den Messungen wiederholten wir diese Prozedur noch zweimal.

Abb.: 5

Lagerung bei der plethysmographischen Messung



Nach einer zweiminütigen Ruhepause unterbanden wir dann für die Messung der reaktiven Hyperämie mittels 200 mm Hg jegliche Blutzufuhr für insgesamt drei Minuten. Die reaktive Hyperämie ist ein Maß für die Durchblutungsreserve und damit für die Beurteilung des arteriellen Systems.

Etwa 5 Sekunden vor Ablauf der Ischämiezeit wurde der Papiertransport eingeschaltet, genau nach 3 Minuten der Staumanschettendruck abgelassen. Im Abstand von 5 Sekunden ("Sofort-Wert"), 15 Sekunden, 30 Sekunden und 1 Minute nach Öffnung der Unterbindung wurde jeweils durch Venenstau über 5 Sekunden mit 60 mm Hg Staudruck das Ausmaß der

als Reaktion auf die Sperrung der Blutzufuhr einsetzenden Durchblutungssteigerung bei laufendem Papiervorschub registriert. Danach wurde eine zehnmünütige Meßpause eingelegt, um die provozierte Perfusionsänderung wieder abklingen zu lassen. Für die Bestimmung der Venenkapazität legten wir wieder einen Stau von 60 mm Hg an den Oberschenkeln an. Es wurde nach jeder Minute für etwa 5 Sekunden der Papiertransport eingeschaltet und so 1, 2 und 3 Minuten nach Staubeginn das vergrößerte Volumen aufgezeichnet. 4 Minuten nach Staubeginn öffneten wir dann bei laufendem Papiervorschub den Stau und verfolgten so den venösen Abstrom und seine Geschwindigkeit. Auf diese Weise wurden insgesamt 29 plethysmographische Messungen durchgeführt. Es wurde dabei versucht, baldmöglichst nach der Gipsabnahme, wo dies möglich war auch schon vor der Eingipsung, eine Woche nach Gipsentfernung und in ein paar Fällen auch noch in längerem Abstand nach der Gipsabnahme derartige Untersuchungen durchzuführen. Die genauen Termine und ihre zeitlichen Abstände zur Immobilisationperiode sind der Tabelle im Anhang zu entnehmen. Immer wurden gleichzeitig beide Beine untersucht, um den Seitenvergleich durchführen zu können.

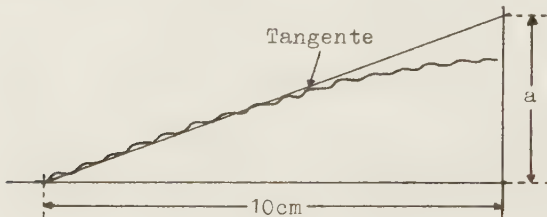
2.5.3. Auswertung

Die vom Schreiber ausgeführte Kurve resultiert aus

dem Papiervorschub von 10 mm in der Sekunde und den durch den Bluteinstrom verursachten Umfangsänderungen des Beines. Dabei entspricht einem Ordinatenabschnitt von 33 mm eine Volumenzunahme des erfaßten Extremitätenabschnitts von 1 % oder einer Durchblutung von 1 ml Blut pro 100 ml Gewebe. Die Abszisse stellt die durch den Papiervorschub bestimmte Zeitachse dar.

Abb. 6:

Vom Kompensationsschreiber des Plethysmographen aufgezeichnete Kurve und ihre Auswertung:



Für die Auswertung der Kurve wird mit dem Lineal eine Tangente an die Anfangssteigung der Kurve gelegt, weil in diesem Teil die Kurve nur vom arteriellen Bluteinstrom bestimmt wird (7,27,36). a ist dabei der für eine Abszisse von 10 cm (= 10 sec) abgelesene Ordinatenwert in Millimetern.

Aus der Eichung des Schreibers folgt:

Einer Steigung der Tangente von 33 mm auf 60 cm entspricht eine Durchblutung von 1 ml Blut auf 100 ml Gewebe in einer Minute, daraus folgt:

$$x = \frac{a \cdot 6}{33} \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right],$$

wobei x den zu a gehörigen Durchblutungswert darstellt.

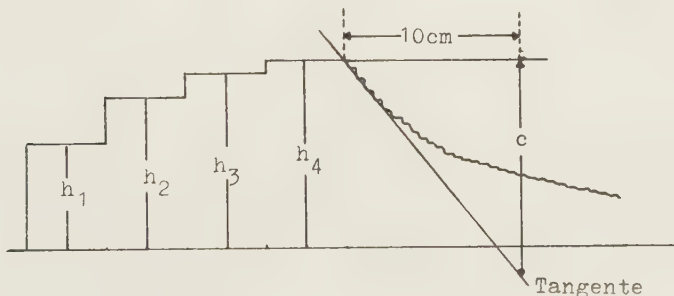
Für die dreimal hintereinander gemessene Ruhedurchblutung wurden auf diese Weise die drei Werte bestimmt und daraus für jedes Bein ein Mittelwert berechnet ($\overline{Rdb}$).

Für die Bestimmung der Durchblutungsgröße nach dreiminütiger Ischämie (= reaktive Hyperämie) konnte in der Auswertung analog verfahren werden, sodaß man einen Sofort-, einen 15-Sekunden-, einen 30-Sekunden und einen 1-Minutenwert erhielt. Der Spitzenwert der Durchblutung nach dreiminütiger Drosselung jeglicher Blutzufuhr, der entweder dem Sofort- oder dem 15-Sekundenwert entspricht wird auch als "peak flow" bezeichnet.

Da bei der Venenkapazitätsmessung der Zeitfaktor wegfällt, muß bei der Auswertung der Kurve nur der statische Wert der Volumenänderung aus der Kurve ermittelt werden.

Abb. 7:

Kurve für Venenkapazität und venösem Ausstrom:



Für die nach jeder Minute des venösen Staus gemessenen Werte h_1 bis h_4 berechnet sich die zugehörige Volumenänderung:

$V = \frac{h}{33}$, wobei h in mm aus der Kurve abgelesen wird. Die Einheit für die Venenkapazität ist ml Blut auf 100 ml Gewebe.

Der Winkel, den eine Tangente der am Anfangsteil der beim Öffnen des Staus entstandenen Kurve mit der Abszisse einschließt, entspricht dem zeitabhängigen Ausmaß des initialen Maximalwerts des venösen Ausstroms. Lesen wir wieder die zu einer Abszisse von 10 cm (= 10 sec) gehörige Ordinate c in mm ab, so ergibt sich folgende Formel für den venösen Ausstrom:

$$vA = \frac{c \cdot 6}{33} \quad \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$$

Unter Halbwertszeit des venösen Ausstroms versteht sich die Zeit, die vergeht, bis die durch den vierminütigen Stau bedingte Umfangsvergrößerung des Beines wieder zur Hälfte zurückgegangen ist.

Abb. 8

Bestimmung der Halbwertszeit des venösen Ausstroms



Graphisch wird sie bestimmt, indem man vom Punkt P, der den Zeitpunkt der Öffnung des Staudrucks von 60 mm Hg repräsentiert, ein Lot auf die Abszisse

fällt. Dieses Lot schneidet die Gerade, die das Ausgangsniveau vor dem venösen Stau darstellt, in dem Punkt Q. Errichtet man nun die Mittelsenkrechte auf die Strecke rQ, so schneidet sie die vom Schreiber gezeichnete Kurve. Aus dem Abstand dieses Schnittpunktes von der Strecke rQ läßt sich die Halbwertszeit (HWZ) des venösen Ausstroms leicht ablesen.

2.6. Hauttemperaturmessungen

Als weiteres Kriterium der Durchblutung führten wir Hauttemperaturmessungen durch.

Mit dem "Thermophil System M 220" der "Ultrakust Gerätebau GmbH & Co., KG" stand uns ein Gerät zur berührungslosen und schnellen Messung der Hauttemperatur an umschriebener Stelle zur Verfügung. In einem zu diesem System gehörenden Meßfühler wird die von der Haut ausgehende Wärmestrahlung auf eine Meßzelle konzentriert, dort in elektrische Spannung umgewandelt, im Gerät verstärkt und als Temperatur auf $0,1^{\circ}\text{C}$ genau zur Anzeige gebracht. Der Meßfühler wurde dazu in 1 cm Abstand auf folgende Hautstellen gehalten:

1. Stirnmitte (als Vergleichsmaß)
2. Patella
3. ventrale Oberschenkelseite, 20 cm proximal der Patellaoberkante
4. ventrale Oberschenkelseite, 10 cm proximal der Patellaoberkante
5. mediales Drittel der Tibiakante
6. distales Drittel der Tibiakante
7. Vorfuß

Es wurde bei den Hauttemperaturmessungen immer darauf geachtet, daß der Meßfühler an beiden Extremitäten an sich entsprechende Stellen gehalten wurde. Als Einflußgröße wurde mit einem zum selben Gerät gehörenden zweiten Fühler immer die während der Untersuchung herrschende Umgebungstemperatur (Zimmertemperatur) festgestellt.

2.7. Statistische Auswertung

2.7.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

Bei den in der Arbeit erwähnten Berechnungen von Mittelwerten $\bar{x}$ und Standardabweichungen $s_{\bar{x}}$ gingen wir nach folgenden Formeln vor (45,88)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Dabei bedeuten: $\bar{x}$ Mittelwert

x_i Einzelwert

043.

n Anzahl der Einzelwerte

$s_{\bar{x}}$ Standardabweichung

2.7.2. Berechnung von Signifikanz

Da alle unsere Messungen auf einen Vergleich von Meßwerten beruhen, die an ein und derselben Person erhoben wurden, also ein intraindividueller Unterschied die Grundlage der Aussagen darstellt, verwendeten wir zum statistischen Vergleich der Mittelwerte den Student-t-Test für verbundene Stichproben (18,45). Die Prüfgröße t wird dabei auf folgende Weise berechnet:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| (1) $\sum d$ | d ... Differenz eines Wertepaares |
| (2) $\frac{\sum d}{n} = \bar{d}$ | |
| (3) $\sum d^2$ | n ... Anzahl der Wertepaare |
| (4) $\frac{(\sum d)^2}{n}$ | |
| (5) $s_{dd} = \frac{d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n}$ | |
| (6) $s_d = \sqrt{\frac{s_{dd}}{n(n-1)}}$ | |
| (7) $t = \frac{\bar{d}}{s_d}$ | |

Die Voraussetzung für statistische Signifikanz ist, daß t einen in einer Tabelle (29) zum jeweiligen Signifikanzniveau gehörenden Wert p übersteigt, der von der Anzahl der Freiheitsgrade (n - 1) abhängt. Schwache Signifikanz liegt vor, wenn t einen zu

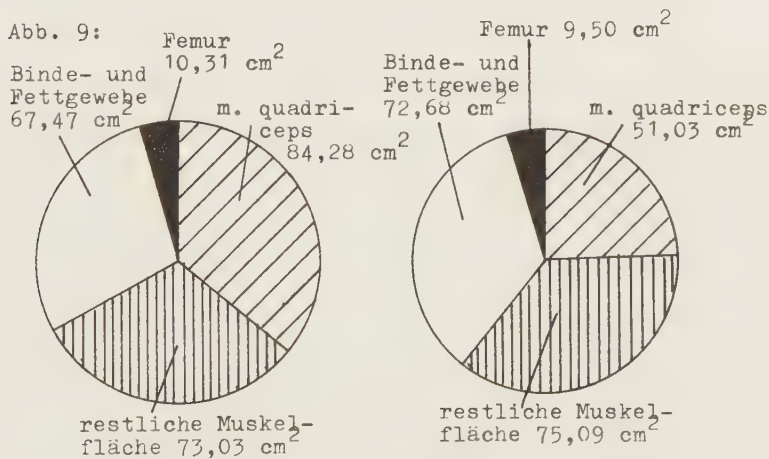
$p < 0,05$ gehörenden Wert übersteigt (entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %), Signifikanz, wenn der Wert t den zu $p < 0,01$ gehörenden Wert übersteigt (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %), und als hoch signifikant bezeichnen wir den Unterschied der geprüften Mittelwerte, wenn t größer ist als ein bei $p < 0,001$ zu findender Schwellenwert (Irrtumswahrscheinlichkeit 0,1%).

Wir wählten diesen nur für den Paarvergleich verwendbaren Test, weil wegen der unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen immer nur die gemessenen Werte am immobilisierten Bein und nicht-immobilisierten Bein miteinander vergleichbar sind.

3. Ergebnisse

3.1. Computertomographie

Wie schon unter 2.3.2. beschrieben, ist es möglich, verschiedene Muskelgruppen, Knochen und Binde- und Fettgewebe auf den computertomographischen Schnitten durch die Oberschenkel gegeneinander abzugrenzen. In der nachstehenden Abbildung sind exemplarisch für einen Patienten und eine Schnittebene des immobilisierten Beins vier Teilflächen, die zusammen die gesamte Querschnittsfläche des Oberschenkels ausmachen, gemäß ihres prozentualen Anteils vor und nach der Ruhigstellungsperiode dargestellt. Der Verschmächtigung des Beins wurde dabei insofern Rechnung getragen, als daß die Flächen der Kreise im gleichen Verhältnis wie die Gesamtquerschnittsflächen stehen.



vor der Ruhigstellung

nach der Ruhigstellung

Man sieht, daß die Sektoren, die dieselben Flächen repräsentieren, in den Kreisen zum Teil einen sehr unterschiedlichen Anteil einnehmen. Das bedeutet, daß die verschiedenen Anteile während der Gipsbehandlung voneinander differierende Veränderungen aufweisen.

3.1.1. Prozentuale Zu- und Abnahmen der Einzelflächen und der Hautfaltendicke in den verschiedenen Perioden der Immobilisation

Um das Ausmaß dieser Veränderungen der in ihrer absoluten Größe sehr unterschiedlichen Werte zu verifizieren und miteinander vergleichen zu können, sind in den folgenden Tabellen für die unter 2.3.4. angegebenen Einzelflächen und für die Hautfaltendicke ihre während den verschiedenen Perioden der Ruhigstellung eintretenden prozentualen Veränderungen aufgeführt. Steht dabei vor der Zahl ein Minuszeichen, bedeutet das, daß sich die betreffende Fläche (bzw. Hautfaltendicke) in der betreffenden Immobilisationsperiode um diesen Prozentwert verringert hat, ein Pluszeichen bedeutet eine Zunahme des Wertes. Die zu diesen Prozentzahlen gehörenden Absolutwerte sind dem Anhang zu entnehmen.

Krank heißt, der Wert wurde am immobilisierten Bein erhoben, gesund steht für das nicht-immobilisierte Bein. Die unterschiedliche Anzahl der Daten in den einzelnen Perioden beruht darauf, daß es, wie in 2.3.1. begründet, nicht möglich war, bei allen Patienten je drei CT-Schnittbilder zu drei Zeitpunkten zu erhalten.

3.1.1.1. Tabellen

Prozentuale Flächenänderungen (%)

1. Gesamtquerschnittsfläche, Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-15,9	-12,7	+18,9	+30,4	- 0,1	+13,8
- 2,8	+ 3,8	- 4,7	+ 5,5	- 7,4	+ 9,6
- 4,3	- 7,0	+ 8,2	+30,2	- 2,4	+ 4,3
-15,1	-12,2	+ 4,0	+19,4	+ 3,5	+21,1
- 6,7	- 4,5	- 2,0	+ 8,1	- 5,0	+ 1,3
- 9,4	-17,3	-13,2	+11,5	-11,8	+ 4,9
- 1,1	- 1,6	- 1,4	+ 7,3	- 8,6	+ 3,2
-10,1	- 3,8	+12,1	+10,7	-21,4	- 7,9
-18,4	- 9,2			+ 8,8	+38,9
				-11,4	+ 3,2
				- 8,5	+ 0,5

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-10,5	-16,2	+ 9,1	+38,1	- 2,4	+15,7
+17,5	+ 9,7	-12,7	+ 2,8	+ 2,6	+12,8
- 9,1	- 8,5	+13,9	+35,2	- 1,6	+ 1,7
-10,2	- 8,7	+ 4,7	+28,7	+ 3,5	+23,8
-10,9	-10,1	+ 0,2	+15,2	-13,7	- 6,2
-11,6	-18,8	- 8,2	+11,8	- 6,0	+17,5
+13,4	+14,4	- 8,9	+ 1,4	-10,6	+ 3,5
+10,1	+22,0	- 9,0	+ 4,1	-18,9	- 9,1
- 5,2	+ 6,2			+ 0,3	+23,6
				-13,8	+10,5

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-18,0	-13,8	+18,1	+32,4	- 3,2	+14,1
+ 6,3	+ 2,1	- 2,9	+ 6,6	+ 3,3	+ 8,8
- 7,9	+ 4,0	+ 0,9	+13,7	+ 6,8	+12,8
-10,3	-14,9	+12,3	+49,6	- 7,1	+18,3
- 8,2	- 7,2	+ 2,6	+12,3	- 9,6	- 7,8
- 6,8	-16,9	- 9,6	+12,4	+ 0,8	+27,3
+ 3,9	+13,4	- 7,4	+ 9,7	- 5,9	+ 4,2
+11,8	+14,7	-12,7	+ 6,8	-15,7	- 6,7
- 5,1	- 1,5			+13,5	+43,6
				+ 3,5	+25,9
				-17,1	+ 5,3

2. Die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-17,7	-12,8	+ 8,4	+28,6	-10,9	+10,9
- 4,2	+ 5,1	- 5,7	+ 4,8	- 9,6	+10,1
- 9,8	- 6,3	+ 1,3	+31,5	+ 0,2	+ 4,1
-17,6	-11,6	- 4,7	+ 5,2	- 8,7	+23,2
-15,9	- 0,8	-10,6	+ 1,6	-10,9	+ 0,5
-11,3	-18,6	-16,5	+13,0	-21,4	- 7,0
- 5,2	- 0,2	- 6,4	+ 3,9	-24,8	+ 0,7
-12,1	- 1,8	+ 3,3	+ 9,0	-25,9	- 8,1
-21,6	-10,5			-10,8	+35,4
				-17,8	+ 2,1
				-19,0	- 2,4

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-16,7	-13,7	+ 8,6	+41,7	- 9,6	+22,3
+20,5	+13,8	-17,1	+ 3,9	- 0,2	+18,2
-13,4	-10,1	+ 7,3	+39,8	- 5,7	+ 2,2
-11,8	- 8,4	- 1,7	+26,9	- 7,0	+25,7
-20,0	-10,5	- 2,2	+20,7	-17,2	- 6,0
-15,0	-18,9	-12,6	+13,1	-13,2	+16,3
+14,1	+15,6	-15,1	+ 2,5	-21,8	+ 8,0
+ 9,3	+24,6	-14,6	+ 4,1	-25,7	- 8,3
- 9,2	+ 5,0			- 7,2	+27,6
				-22,4	+ 9,3

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-23,5	-16,2	+17,7	+39,3	- 9,9	+16,7
+ 3,1	+ 6,5	-13,9	+ 8,7	-11,3	+15,7
-11,0	+ 6,0	- 3,7	+ 9,4	+ 4,7	+10,4
-10,9	-16,4	+ 8,3	+48,4	-14,3	+16,0
-15,0	- 1,3	- 1,2	+20,2	-13,1	-11,8
- 8,1	-19,3	-13,8	+14,7	- 3,4	+24,3
+ 6,1	+15,5	-12,7	+ 9,4	-16,0	+18,6
+ 7,7	+19,0	-16,2	+ 8,2	-20,8	- 7,4
- 9,0	-2,3			- 2,2	+33,8
				- 5,9	+30,2
				-23,7	+ 5,7

050.

3. Gesamtmuskelfläche

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-17,6	-16,6	+ 7,0	+37,2	-11,8	+14,4
- 6,7	+ 7,3	- 5,9	+ 4,0	-12,1	+11,6
-12,5	- 8,7	+ 1,0	+38,8	+ 0,7	+ 5,0
-21,1	- 9,6	- 7,7	+ 1,1	-11,7	+26,7
-21,2	- 1,3	- 7,0	+ 2,3	-15,8	+ 2,9
-15,2	-16,9	-18,1	+13,7	-27,2	- 8,6
- 8,0	+ 2,6	- 5,5	+ 7,1	-26,8	+ 1,0
-15,1	- 4,4	- 0,2	+ 9,9	-30,6	- 5,5
-20,4	- 7,8			-12,3	+43,4
				-19,8	+ 2,5
				-20,6	+ 1,3

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-17,7	-12,8	+ 7,1	+45,8	-11,9	+27,1
+25,0	+15,2	-19,6	+ 7,0	+ 0,5	+23,3
-10,1	-17,3	- 1,7	+52,7	- 6,9	+ 1,3
-13,7	-13,1	+ 0,1	+39,3	-11,6	+26,2
-15,3	-11,6	- 6,2	+27,1	-17,1	- 2,6
-11,8	-18,3	-19,9	+14,9	-13,6	+21,1
+14,6	+13,5	-19,8	+ 1,8	-20,6	+12,4
+ 7,4	+25,2	-17,0	+ 5,2	-29,4	- 6,1
- 4,5	+12,1			-13,8	+27,5
				-20,8	+18,0

051.

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-34,7	-22,9	+28,6	+55,5	-16,0	+19,9
+ 5,6	+11,7	-15,1	+12,1	-10,4	+25,1
-11,7	- 1,5	+ 6,4	+66,6	+ 2,1	+ 7,8
-12,1	-19,4	+ 8,0	+60,7	- 6,0	+64,2
-12,8	- 4,1	- 4,0	+39,3	-22,0	-13,7
-10,8	-20,0	-16,2	+16,5	- 5,1	+29,6
+ 5,7	+18,6	-17,7	+ 6,4	-16,2	+33,6
+10,6	+19,3	-20,5	+10,7	-25,3	- 6,8
- 7,0	+ 2,2			- 1,4	+61,2
				- 9,0	+26,9
				-26,1	+13,1

4. Querschnittsfläche des m. quadriceps femoris

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
- 7,2	- 8,9	- 7,8	+31,9	-14,5	+20,1
- 7,2	+ 8,9	-12,2	- 0,5	-18,5	+ 8,3
-13,1	-13,5	-18,6	+37,6	-16,3	+ 5,9
-21,7	- 5,4	-26,7	- 2,8	-29,2	+19,0
-22,6	- 5,2	-16,8	+ 4,0	-20,7	+ 2,8
- 9,0	-14,2	-27,2	+ 9,6	-42,6	- 8,0
-17,9	- 1,1	-22,5	+ 8,0	-35,6	- 1,4
-21,9	-15,1	- 4,2	+ 6,1	-33,7	- 5,9
-22,8	- 8,2			-27,3	+26,5
				-39,5	- 8,3
				-26,0	- 2,6

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-21,4	- 9,7	+ 2,8	+47,0	-19,2	+32,8
+20,0	+ 7,2	-22,4	+12,3	- 6,8	+20,5
- 8,1	-18,5	-24,0	+45,3	- 9,4	+ 6,7
-13,5	-19,9	-16,8	+33,8	-30,2	+18,4
-12,2	- 3,9	-18,8	+27,6	-24,0	+ 3,1
-16,3	-12,7	-20,1	+12,2	-28,0	+ 7,1
+ 0,6	+ 2,0	-27,7	+ 7,6	-28,6	+22,7
- 8,1	+16,6	-25,4	+ 8,0	-31,8	- 2,1
-8,8	+ 4,4			-33,6	+25,4
				-31,9	+12,8

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-33,9	-14,9	+ 5,5	+36,6	-30,3	+16,4
+23,4	+16,6	-26,8	+ 9,9	- 9,7	+28,1
-20,0	+ 7,6	-20,1	+48,3	- 8,8	+ 7,0
- 6,4	-21,2	-17,0	+56,2	-36,1	+59,5
-14,6	+ 1,2	-16,2	+42,7	-24,7	-15,0
- 7,5	-23,0	-23,9	+16,4	-22,4	+23,1
+ 6,8	+13,7	-33,4	+ 6,7	-28,4	+44,5
+ 1,2	+12,8	-35,4	+ 7,5	-29,6	-10,4
- 8,6	- 0,8			-23,1	+43,2
				-32,6	+20,3
				-40,9	+ 6,6

053.

5. Querschnittsfläche aller am Oberschenkel gelegenen Muskeln mit Ausnahme des m. quadriceps femoris

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-25,8	-23,5	+21,7	+42,9	- 9,7	+ 9,3
- 6,2	+ 5,9	- 0,7	+ 8,3	- 6,9	+14,6
-11,8	- 1,3	+26,5	+40,5	+17,0	+ 4,2
-20,5	-13,4	+ 9,9	+ 4,8	+11,5	+38,7
-19,8	+ 3,4	+ 3,0	+ 0,5	-10,4	+ 2,9
-21,7	-19,7	- 7,2	+18,2	-12,6	- 9,2
+ 0,5	+ 5,9	+11,0	+ 6,4	-17,4	+ 3,9
- 7,4	+ 6,8	+ 4,3	+13,7	-27,3	- 5,1
-17,6	- 7,4			+ 9,4	+68,8
				+ 2,8	+13,7
				-14,1	+ 5,3

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-13,4	-16,4	+11,7	+44,4	- 3,3	+20,8
+30,8	+26,2	-16,7	+ 0,7	+ 9,0	+27,1
-12,9	-15,6	+31,7	+62,6	- 4,8	- 4,7
-14,0	- 4,7	+17,9	+44,9	+14,7	+37,2
-18,5	-18,5	+ 7,6	+26,5	- 7,6	- 9,6
- 8,7	-24,1	-19,7	+18,3	+ 1,3	+38,0
+29,1	+26,8	-12,6	- 3,1	-12,3	+ 3,1
+26,6	+33,6	- 7,6	+ 2,3	-26,7	-10,2
+ 0,7	+21,9			+10,8	+29,5
				- 7,0	+24,6

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
-35,7	-33,2	+61,6	+86,3	+ 3,9	+24,4
-15,2	+ 4,8	+ 4,7	+15,4	-11,2	+20,8
+ 9,0	-12,2	+54,9	+93,3	+12,4	+ 9,0
-19,3	-17,1	+44,4	+66,3	+68,8	+69,7
-10,6	- 8,8	+10,1	+35,8	-17,7	-11,9
-14,6	-15,7	- 6,5	+16,6	+16,5	+37,8
+ 4,5	+25,0	- 2,0	+ 6,1	- 1,6	+23,9
+22,0	+26,5	+ 0,1	+14,9	-20,1	- 1,7
- 4,7	+ 6,2			+36,2	+90,3
				+19,6	+34,2
				- 4,6	+22,1

6. Querschnittsfläche des Unterhautfettgewebes

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
- 8,5	-12,6	+58,5	+39,8	+45,1	+22,2
+ 0,4	+ 0,3	- 2,4	+ 7,6	- 2,0	+ 7,9
+11,1	- 8,5	+23,9	+26,9	- 4,7	+ 4,5
- 4,2	-15,2	+37,7	+91,2	+37,6	+16,1
+ 2,6	- 8,1	+ 5,0	+14,8	+15,7	+ 4,0
- 3,5	-12,3	- 3,3	+ 5,9	+32,0	+62,1
+24,2	-10,4	+12,1	+20,3	+ 7,7	+ 5,6
- 4,0	-11,1	+52,8	+18,2	- 4,5	- 7,1
+ 0,5	- 2,4			+36,7	+43,6
				+ 7,6	+ 7,0
				+53,6	+15,3

055.

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
+18,5	-26,3	+10,9	+21,1	+31,4	-10,7
+11,5	- 1,1	- 3,1	- 0,4	+ 8,0	- 1,5
+ 1,7	- 5,0	+28,3	+26,1	+ 2,6	+ 1,2
- 1,9	-10,4	+34,3	+38,9	+30,5	+19,8
- 2,0	- 9,8	+ 2,4	+ 9,5	- 0,2	- 6,8
+ 1,9	-18,4	+ 6,2	+ 6,5	+31,7	+23,7
+ 8,6	+ 5,5	+11,7	- 3,1	+ 2,2	- 1,2
+12,9	+13,4	+16,7	+ 4,1	+ 8,3	-13,1
+18,9	+12,0			+26,1	+ 9,9
				+38,8	+16,7

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
+ 4,0	- 3,2	+19,0	+ 6,0	+23,7	+ 2,6
+14,9	- 8,4	+23,3	+ 0,9	+41,7	- 7,6
+ 0,9	- 0,5	+12,7	+24,1	+ 9,0	+15,4
- 7,6	- 7,5	+29,5	+54,9	+13,6	+23,5
- 0,5	-12,7	+ 6,3	+ 4,0	+ 3,6	+ 9,6
- 2,5	- 8,5	+ 3,3	+ 5,0	+19,7	+43,3
- 8,2	- 0,3	+ 7,4	+10,9	+ 5,8	- 9,2
+25,0	+ 2,2	+ 1,0	+ 1,5	+ 0,7	- 4,0
+13,7	+ 2,0			+38,0	+60,8
				+34,3	+13,3
				+14,9	+ 3,5

056.

7. Querschnittsfläche des intermuskulären Binde- und Fettgewebes

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
- 38,8	+129,3	+134,3	- 82,0	+ 43,3	- 58,6
+ 62,0	- 38,6	- 15,4	+ 41,8	+ 36,9	- 12,9
+ 10,1	+ 4,8	+ 10,1	+ 2,6	- 20,8	- 12,2
+ 67,9	- 41,2	+ 19,7	+163,4	+ 21,2	+ 7,6
+146,8	+ 2,6	- 65,1	- 11,9	+ 87,3	- 35,8
+ 48,6	- 41,0	- 16,3	+ 13,2	+101,1	+ 59,8
+ 88,8	- 43,7	- 28,5	- 33,1	- 13,8	- 9,6
+ 51,5	+ 54,8	+ 55,4	- 4,9	+ 24,4	- 33,3
- 41,2	- 29,4			+ 6,3	- 10,1
				+ 8,3	+ 3,5
				- 8,7	- 32,9

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
- 20,2	- 49,8	+ 15,2	+154,4	- 8,1	+ 27,8
- 2,4	+ 9,3	- 1,1	- 26,0	- 3,5	- 19,1
- 48,9	+ 62,3	+166,0	+ 17,2	+ 4,8	+ 14,1
+ 6,5	+110,5	- 32,3	-100,0	+ 35,8	+ 90,2
- 98,8	- 12,2	+ 51,8	- 18,4	- 21,7	- 62,8
- 56,0	- 47,2	+114,4	+ 27,6	- 27,8	-100,0
+ 2,3	+109,8	+ 44,2	+ 23,9	- 46,9	- 28,3
+ 21,1	+ 34,5	+ 10,4	- 2,1	- 5,6	- 32,6
- 41,9	- 31,5			+ 75,1	+ 66,4
				- 36,4	- 32,9

Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
+176,8	+ 43,1	- 17,4	- 8,0	+128,6	+ 31,6
+ 6,4	+ 11,7	- 21,8	- 27,1	- 16,8	- 18,5
- 14,3	+ 10,3	- 15,4	- 12,7	+ 9,6	+ 31,5
+ 11,0	+ 55,2	+ 26,0	- 20,7	- 27,5	- 3,7
- 58,4	+ 5,4	+ 94,2	- 36,9	+ 97,3	- 16,1
+ 12,3	- 29,6	+ 1,7	+ 24,1	+ 39,8	+ 22,8
+ 34,5	- 1,2	+ 50,2	+ 64,4	- 19,2	- 33,3
- 23,5	+ 68,2	+ 0,3	- 1,8	+ 14,3	- 12,6
- 15,2	- 14,0			+ 2,1	- 45,9
				+ 14,9	+176,4
				- 14,9	- 15,5

8. Hautfaltendicke

Oberrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
0,0	- 6,7	+48,6	+21,4	+48,6	+13,3
+ 2,5	- 1,9	0,0	+ 4,8	+ 2,5	+ 2,8
+14,9	- 6,1	+21,0	+12,0	- 4,3	+ 2,5
+ 4,1	- 9,7	+39,0	+80,0	+39,1	+ 5,1
+ 8,4	- 6,3	+ 8,2	+11,7	+20,4	+ 3,2
+ 2,0	- 3,4	+ 3,9	0,0	+44,6	+62,5
+27,1	-10,2	+14,3	+17,8	+17,3	+ 8,6
+ 1,7	-10,0	+46,6	+13,3	+ 6,0	- 3,4
+12,3	+ 2,7			+36,7	+22,1
				+16,2	+ 6,0
				+64,4	+16,4

Mitte

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
+28,2	-19,7	+ 5,5	+ 1,8	+35,1	-18,2
+ 1,6	- 6,0	+ 5,6	- 2,1	+ 7,3	- 8,0
+ 8,1	0,0	+21,5	+ 7,5	+ 4,4	0,0
+ 5,0	- 6,9	+33,3	-25,9	+31,4	+ 7,5
+ 8,4	- 4,5	+ 2,9	+ 1,0	+ 8,5	- 3,7
+10,1	- 9,7	+11,5	+ 1,5	+40,0	+17,2
+ 2,0	- 2,2	+18,6	- 3,3	+11,6	- 3,5
+ 8,5	+ 2,2	+23,9	+ 1,4	+11,4	- 8,3
+24,6	+ 9,2			+28,7	- 1,1
				+54,4	+10,8

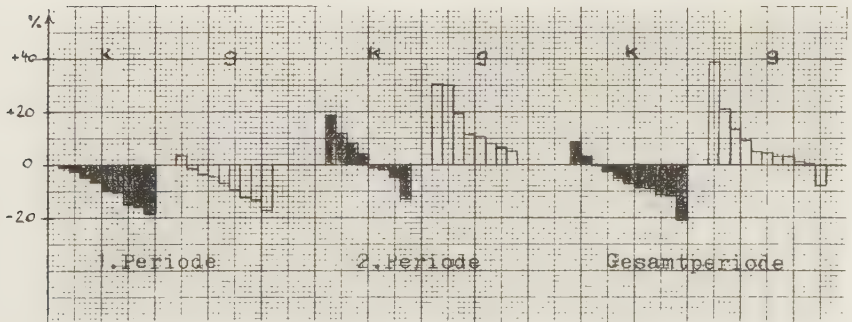
Unterrand

1.Periode		2.Periode		Gesamtperiode	
krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
+18,3	+ 5,5	+ 8,5	-10,3	+28,3	- 5,5
+12,4	-10,2	+28,0	- 2,3	+43,8	-12,2
+ 5,3	- 3,8	+13,9	+18,4	+ 5,6	+ 9,1
- 3,2	+ 2,0	+23,3	+27,5	+20,0	+13,9
+ 5,8	-10,8	+ 6,1	- 2,9	+ 9,3	+14,9
+ 1,2	+ 1,3	+ 9,3	- 1,3	+19,4	+30,0
-11,3	- 6,2	+12,5	+ 6,6	+12,3	-13,4
+19,1	- 6,2	+ 9,0	- 1,4	+ 8,2	0,0
+18,2	+ 2,8			+34,2	+36,3
				+34,0	0,0
				+28,8	+ 1,4

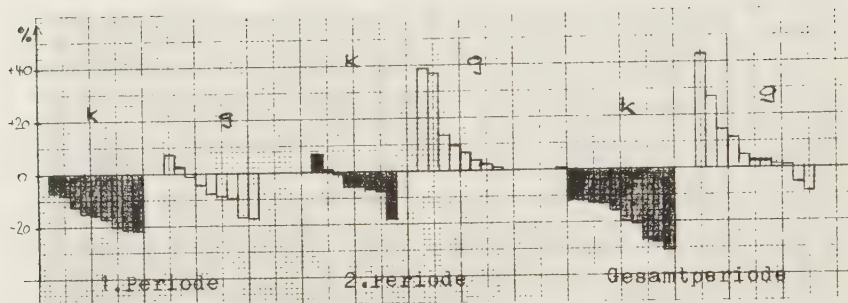
3.1.1.2. Graphische Darstellung

Zur Veranschaulichung dieser Zahlenwerte sind für fünf Flächen die Zu- oder Abnahmen in den verschiedenen Perioden der Immobilisation bei allen Patienten jeweils für eine Schnittebene graphisch dargestellt. Dabei bedeutet ein Balken nach unten eine Abnahme, ein Balken nach oben eine Zunahme des Werts. Das immobilisierte Bein wird dabei dem nicht immobilisierten immer direkt gegenübergestellt. Die vollschwarzen Balken stehen dabei für das immobilisierte (k), die hellen für das nicht immobilisierte Bein (g). In der Darstellung sind die Prozentwerte der Flächenänderungen nach absteigendem Wert von links nach rechts geordnet.

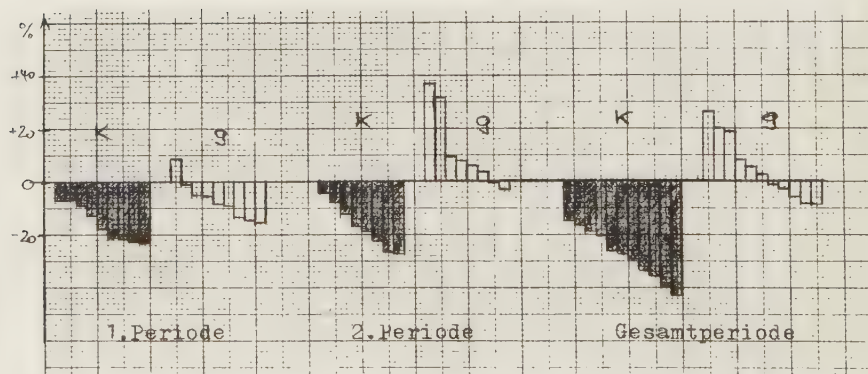
1. Gesamtfläche



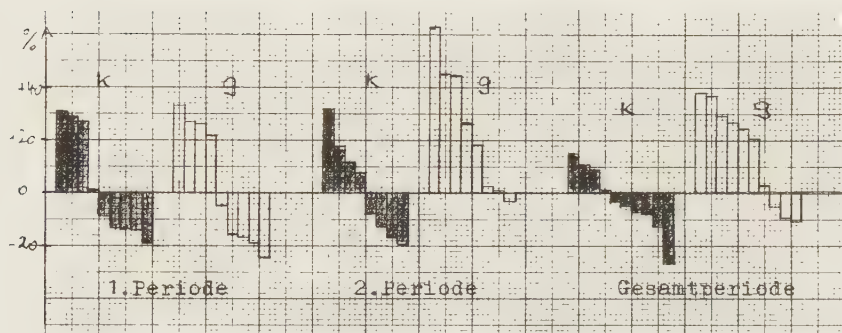
2. Gesamtmuskelfläche



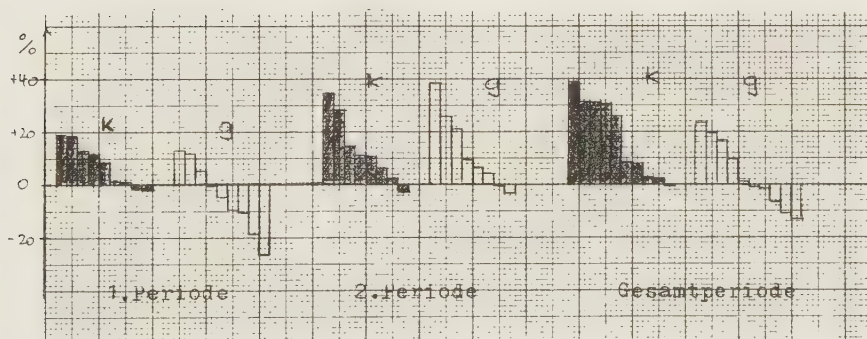
3. Querschnittsfläche des m. quadriceps femoris



4. Querschnittsfläche aller am Oberschenkel gelegenen Muskeln mit Ausnahme des m. quadriceps femoris



5. Querschnittsfläche des Unterhautfettgewebes



3.1.2. Durchschnittswerte der prozentualen Flächenänderungen des Patientenkollektivs

3.1.2.1. Tabellen

Folgende Tabellen zeigen die Ergebnisse der unter 2.3.4. erklärten Mittelwertberechnungen über alle Patienten und die zugehörigen Standardabweichungen.

Zur Erläuterung:

Die Bedeutung der Rubriken 1. bis 8. ist unter 2.3.4. zu finden.

Beispiel:

Die "-10,03" auf der folgenden Seite, immobilisiertes Bein, Gesamtruhigstellungsperiode, Mittelwerte aus den 3 Schnitten, Rubrik 4, bedeutet:

Die Querschnittsfläche des m. quadriceps femoris hat im Mittel über alle Patienten und aus den drei Schnittebenen während der ersten Ruhigstellungsperiode um 10,03 Prozent abgenommen.

immobilisiertes Bein

1. Ruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwerte aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	- 9,31	- 1,83	- 3,81	- 4,98
$s_{\bar{x}}$	5,79	11,92	8,79	9,43
2. $\bar{x}$	-12,82	- 4,69	- 6,73	- 8,08
$s_{\bar{x}}$	5,55	14,20	10,04	9,93
3. $\bar{x}$	-15,31	- 2,90	- 7,47	- 8,56
$s_{\bar{x}}$	7,66	14,19	12,87	11,57
4. $\bar{x}$	-15,93	- 7,53	- 6,62	-10,03
$s_{\bar{x}}$	6,44	11,32	15,39	11,05
5. $\bar{x}$	-14,48	+ 2,21	- 7,18	- 6,48
$s_{\bar{x}}$	8,19	19,49	16,14	14,60
6. $\bar{x}$	+ 2,07	+ 7,79	+ 4,41	+ 4,76
$s_{\bar{x}}$	9,40	7,74	10,58	9,24
7. $\bar{x}$	+43,97	-26,44	+14,40	+10,64
$s_{\bar{x}}$	56,57	35,99	62,62	51,72
8. $\bar{x}$	+ 8,11	+10,71	+ 7,31	+ 8,71 (%)
$s_{\bar{x}}$	8,27	8,88	10,02	9,05

nicht-immobilisiertes Bein

1. Ruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwerte aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	- 7,17	- 1,11	- 2,23	-3,50
$s_{\bar{x}}$	6,07	13,65	11,17	11,09
2. $\bar{x}$	- 6,39	- 0,30	- 0,93	- 2,54
$s_{\bar{x}}$	7,12	14,49	13,26	11,62
3. $\bar{x}$	- 6,16	- 0,79	- 1,79	- 2,91
$s_{\bar{x}}$	7,66	15,96	15,49	13,03
4. $\bar{x}$	- 6,97	- 3,83	- 0,89	- 3,90
$s_{\bar{x}}$	7,13	11,67	14,45	11,08
5. $\bar{x}$	- 4,81	+ 3,24	- 2,72	- 1,43
$s_{\bar{x}}$	11,03	22,05	18,82	17,30
6. $\bar{x}$	- 8,92	- 4,46	- 4,10	- 5,83
$s_{\bar{x}}$	4,71	12,62	5,03	7,45
7. $\bar{x}$	- 0,27	+20,63	+16,57	+12,31
$s_{\bar{x}}$	55,16	59,10	30,60	48,28
8. $\bar{x}$	- 5,73	- 4,18	- 2,84	- 4,25 (%)
$s_{\bar{x}}$	4,03	7,62	5,60	5,75

immobilisiertes Bein

2. Ruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwerte aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	+ 2,74	- 1,36	+ 0,16	+ 0,51
$s_{\bar{x}}$	9,54	9,16	10,01	9,73
2. $\bar{x}$	- 3,86	- 5,93	- 4,44	- 4,74
$s_{\bar{x}}$	7,45	9,65	11,43	9,51
3. $\bar{x}$	- 4,55	- 9,63	- 3,81	- 6,00
$s_{\bar{x}}$	6,94	10,06	15,90	10,96
4. $\bar{x}$	-17,00	-19,05	-20,91	-18,99
$s_{\bar{x}}$	7,92	8,90	11,96	9,59
5. $\bar{x}$	+ 8,56	+ 1,54	+20,91	+10,34
$s_{\bar{x}}$	10,52	17,26	26,10	17,76
6. $\bar{x}$	+23,04	+13,43	+12,81	+16,43
$s_{\bar{x}}$	22,75	11,84	9,54	14,71
7. $\bar{x}$	+11,78	+46,08	+14,73	+24,20
$s_{\bar{x}}$	57,05	60,90	37,66	51,87
8. $\bar{x}$	+22,70	+15,35	+13,83	+17,29 (%)
$s_{\bar{x}}$	18,23	10,03	7,27	11,84

nicht-immobilisiertes Bein

2. Ruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwerte aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	+15,39	+17,16	+17,94	+16,83
$s_{\bar{x}}$	9,44	13,94	14,19	11,14
2. $\bar{x}$	+12,20	+19,09	+19,79	+17,03
$s_{\bar{x}}$	10,82	12,49	14,56	12,62
3. $\bar{x}$	+14,26	+24,23	+31,41	+23,30
$s_{\bar{x}}$	14,23	18,56	26,04	19,61
4. $\bar{x}$	+11,74	+24,23	+28,04	+21,34
$s_{\bar{x}}$	13,90	15,37	18,81	16,02
5. $\bar{x}$	+16,91	+24,58	+41,84	+27,78
$s_{\bar{x}}$	15,18	22,70	32,78	23,55
6. $\bar{x}$	+28,09	+12,76	+13,41	+18,09
$s_{\bar{x}}$	25,90	13,67	17,15	18,90
7. $\bar{x}$	+11,14	+ 9,58	- 2,35	+ 6,12
$s_{\bar{x}}$	62,91	66,84	30,48	53,53
8. $\bar{x}$	+20,13	- 2,26	+ 4,29	+ 7,39 (%)
$s_{\bar{x}}$	23,48	9,42	11,80	14,90

065.

immobilisiertes Bein
Gesamtruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwert aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	- 5,85	- 6,06	- 3,07	- 4,99
$s_{\bar{x}}$	7,82	6,79	8,91	8,39
2. $\bar{x}$	-14,51	-13,00	-11,59	-13,03
$s_{\bar{x}}$	7,55	10,16	6,38	8,16
3. $\bar{x}$	-17,09	-14,52	-13,54	-15,05
$s_{\bar{x}}$	8,64	7,77	7,16	8,92
4. $\bar{x}$	-27,63	-24,35	-28,66	-26,88
$s_{\bar{x}}$	9,05	9,06	9,49	9,50
5. $\bar{x}$	- 5,25	- 2,59	+10,22	+ 0,79
$s_{\bar{x}}$	13,03	11,63	24,47	16,79
6. $\bar{x}$	+20,44	+17,94	+20,50	+19,63
$s_{\bar{x}}$	20,23	14,26	10,53	15,00
7. $\bar{x}$	+29,74	- 3,43	+22,82	+16,38
$s_{\bar{x}}$	34,64	34,21	46,72	38,52
8. $\bar{x}$	+26,52	+23,28	+24,39	+24,73 (%)
$s_{\bar{x}}$	20,61	16,09	6,35	14,35

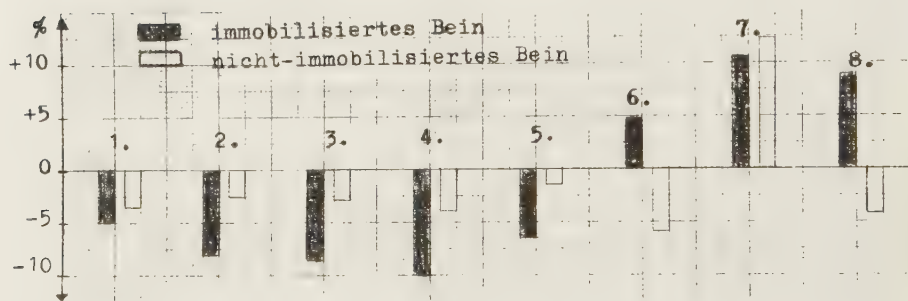
nicht-immobilisiertes Bein
Gesamtruhigstellungsperiode

	Oberrand	Mitte	Unterrand	Mittelwerte aus den 3 Schnitten
1. $\bar{x}$	+ 9,98	+ 9,38	+ 13,25	+10,84
$s_{\bar{x}}$	10,84	10,08	14,49	13,01
2. $\bar{x}$	+ 6,32	+11,53	+13,84	+10,56
$s_{\bar{x}}$	12,48	12,03	13,48	13,31
3. $\bar{x}$	+ 8,61	+14,82	+23,71	+15,71
$s_{\bar{x}}$	14,36	12,21	23,16	18,78
4. $\bar{x}$	+ 5,13	+14,74	+20,30	+13,39
$s_{\bar{x}}$	11,54	10,76	21,91	17,10
5. $\bar{x}$	+13,37	+15,58	+28,95	+19,30
$s_{\bar{x}}$	20,99	18,08	28,12	22,39
6. $\bar{x}$	+16,47	+ 3,80	+13,75	+11,34
$s_{\bar{x}}$	19,04	12,34	20,73	17,37
7. $\bar{x}$	-12,23	- 7,72	+10,62	- 3,11
$s_{\bar{x}}$	29,27	54,93	57,58	47,26
8. $\bar{x}$	+12,65	- 0,73	+ 6,77	+ 6,23 (%)
$s_{\bar{x}}$	17,19	9,77	15,29	14,08

3.1.2.2. Graphische Darstellung

In welchem Ausmaß die einzelnen Flächen und die Hautfaltendicke an beiden Oberschenkeln im Durchschnitt aller Schnittebenen und aller Patienten in den verschiedenen Perioden der Immobilisation zu- oder abnehmen, wird aus folgender Graphik sichtbar.

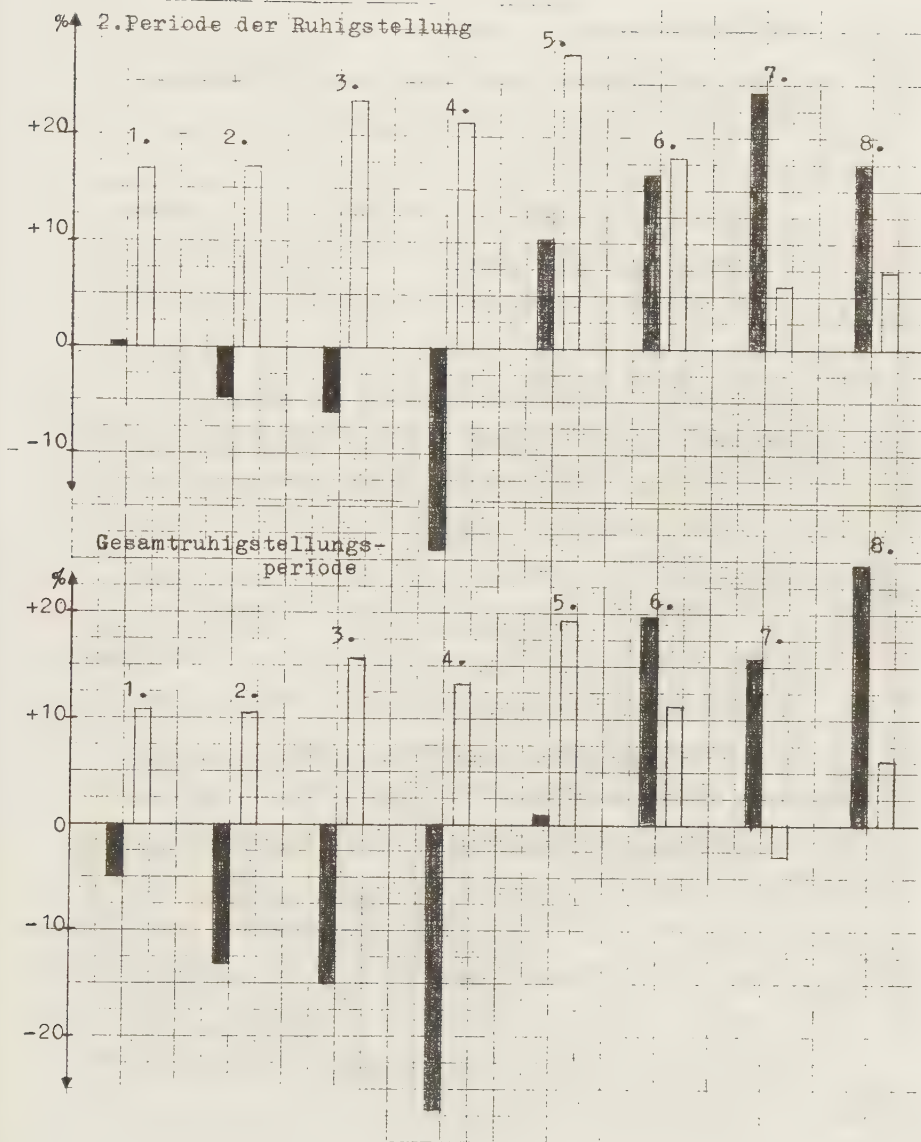
1. Periode der Ruhigstellung



Die Rubriken 1. bis 8. (wie in 2.3.4.):

1. Fläche des Gesamtquerschnitts
2. Die durch den äußeren Muskelumfang eingeschlossene Fläche
3. Gesamtmuskelfläche
4. Querschnittsfläche des m. quadriceps femoris
5. Querschnittsfläche aller am Oberschenkel gelegenen Muskeln mit Ausnahme des m. quadriceps femoris
6. Querschnittsfläche des Unterhautfettgewebes
7. Querschnittsfläche des intermuskulären Binde- und Fettgewebes
8. Hautfaltendicke

2. Periode der Ruhigstellung



Auch hier stehen die dunklen Balken wieder für das immobilisierte, die hellen für das nicht-immobilisierte Bein. Rubriken 1. bis 8. siehe vorhergehende Seite.

3.1.3. Statistische Auswertung

Mit dem unter 2.6.2. beschriebenen t-Test für den Mittelwertvergleich haben wir die folgenden Fragestellungen statistisch bearbeitet:

Im Vergleich zwischen beiden Beinen:

- Sind die Veränderungen der Gesamtmuskelfläche während der Immobilisation an beiden Beinen signifikant unterschiedlich?
- Nimmt das Unterhautfettgewebe am immobilisierten Bein signifikant stärker zu als am nicht-immobilisierten?
- Besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Veränderungen des intermuskulären Binde- und Fettgewebes beider Beine?

Im Vergleich innerhalb des immobilisierten Beins:

- Verändert sich die Gesamtmuskelfläche in signifikanter Weise unterschiedlich zur Veränderung des Gesamtbinde- und -fettgewebes?
- Ist die Flächenabnahme des m. quadriceps femoris signifikant stärker als die der restlichen Oberschenkelmuskulatur?

Bei allen diesen statistischen Berechnungen beziehen wir uns auf die Veränderungen der betreffenden Flächen während der Gesamtimmobilisationsperiode. Wir hatten dabei pro Fragestellung jeweils 32 Einzelwerte zu vergleichen und daher 31 ($n - 1$) Freiheitsgrade im Test.

3.1.4. Zusammenfassung der CT-Ergebnisse

Die Darstellung der Einzelergebnisse (Tabellen in 3.1.1.1. und Graphik in 3.1.1.2.) macht deutlich, daß sich die Flächen doch von Patient zu Patient recht unterschiedlich verändern. Es stehen zum Beispiel erhebliche Zunahmen bestimmter Muskelgruppen beim einen Patienten Abnahmen beim anderen Patienten in der gleichen Immobilisationsperiode gegenüber, für Fett- und Bindegewebsflächen läßt sich das nämliche feststellen. Trotzdem sind schon bei dieser Darstellung meist vorherrschende Entwicklungen sichtbar.

Was zeigen die Mittelwerte?

Während der ersten Tage der Immobilisationsperiode, d. h. von der ersten bis zur zweiten CT-Aufnahme (ein Zeitraum von durchschnittlich 9 Tagen), wird sowohl die Gesamtquerschnittsfläche des Oberschenkels als auch die sämtlicher Muskelgruppen kleiner, und zwar sowohl am immobilisierten wie auch am nicht-immobilisierten Bein. Diese Tatsache verwundert nicht, wenn man bedenkt, daß die Patienten in dieser Zeit mit einem Liegegips das Bett hüteten. Die Abnahme dieser Flächen ist aber am gesunden Bein deutlich schwächer als am kranken. Das Unterhautfettgewebe nimmt am immobilisierten Bein in der gleichen Zeit zu, am nicht-immobilisierten Bein ab, ebenso die Hautfaltendicke, wohingegen das quantitativ wesentlich geringere intermuskuläre Binde- und Fettgewebe an beiden Beinen etwa gleich stark zunimmt.

Während der folgenden Ruhigstellungszeit, also zwischen der zweiten und dritten CT-Aufnahme, während die Patienten auf Krücken herumliefen, das gesunde Bein belasteten, das im Tutor eingegipste Bein größtenteils entlasteten, setzt das gesunde Bein bei allen Muskelgruppen und bei der Gesamtquerschnittsfläche an Substanz zu, am immobilisierten Bein nehmen die Gesamtmuskelfläche und die Quadricepsfläche weiterhin ab (allerdings pro Tag betrachtet deutlich langsamer als in der Anfangsperiode), währenddessen die durchschnittliche Gesamtquerschnittsfläche sogar minimal zunimmt, was auf die Zunahme der Oberschenkelmuskulatur mit Ausnahme des m. quadriceps femoris, aber vor allem auf die doch erhebliche Vermehrung des Unterhautfettgewebes und des intermuskulären Binde- und Fettgewebes zurückgeführt werden kann. Die Fett- und Bindegewebsfläche nehmen auch am nicht-immobilisierten Bein während der zweiten Ruhigstellungsperiode zu.

Die mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$ statistisch im Vergleich zum nicht immobilisierten Bein stärkere Abnahme der Muskelfläche von mittleren 15 % am immobilisierten Bein bedingt eine Abnahme des Gesamtquerschnitts von ca. 5 %. In der gleichen Zeit nehmen Gesamtquerschnitt am nicht-immobilisierten Bein um ca. 11 % und Gesamtmuskelfläche um ca. 16 % zu.

Die Verringerung der Muskulatur am ruhiggestellten Bein wird durch eine mittlere Atrophie der Quadriceps-

fläche um ca. 27 % bedingt, während gleichzeitig Kniebeugemuskulatur und Adduktoren fast unverändert bleiben. Das unterschiedliche Verhalten der Kniestreckmuskulatur zu Kniebeugemuskulatur plus Adduktoren ist statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$).

Am gesunden Bein nehmen neben der Gesamtquerschnittsfläche auch die Flächen aller Muskelgruppen zwischen 13 % und 19 % zu.

Die Zunahme der Hautfaltendicke von mittleren 24 % am kranken und von mittleren 6,5 % am gesunden Bein wird durch die Vermehrung des Unterhautfettgewebes von durchschnittlich 20 % am kranken und 12 % am gesunden Bein verursacht. Daß sich die Werte für die Hautfaltendicke von den Werten für das Unterhautfettgewebes, aus denen sie berechnet wurden, unterscheiden, resultiert aus den gleichzeitigen Veränderungen der Gesamtfläche, die im Falle des nicht-immobilisierten Beins zunimmt und am immobilisierten abnimmt.

Die deutliche Zunahme des Unterhautfettgewebes am ruhiggestellten Bein im Vergleich zum nicht-ruhiggestellten Bein liegt beim t-Test bei $p < 0,05$ und ist damit signifikant stärker. Das intermuskuläre Binde- und Fettgewebe nimmt im Mittelwert in der Gesamtperiode am immobilisierten Bein um ca. 16 % zu und am nicht-immobilisierten um ca. 3 % ab. So augenscheinlich diese Mittelwerte differieren, im t-Test ließ sich für diese beiden Flächenänderungen nur eine schwache Signifikanz ($p < 0,05$) finden.

Es zeigte sich weiterhin, daß die von außen sichtbare Verschmächtigung des immobilisierten Beins, was der Abnahme der Gesamtquerschnittsfläche entspricht, sich zusammensetzt aus einer Atrophie der Muskulatur und einer gleichzeitigen Hypertrophie des Fett- und Bindegewebsanteils. Die Gegenläufigkeit dieser Veränderungen von Muskulatur und Fett- und Bindegewebe war hoch signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 %. Somit lassen sich in der computertomographischen Beurteilung der Atrophie die klinischen Erfahrungen nachvollziehen. Die Immobilisation mittels Oberschenkelgips hat erhebliche Wirkungen auf die Muskulatur des eingegipsten Beins, vordringlich auf den m. quadriceps femoris, der während der sechswöchigen Ruhigstellung im Mittel 27 % seiner Substanz einbüßt, die übrige am Oberschenkel gelegene Muskulatur verändert sich in wesentlich geringfügigerem Ausmaß, eine Fett- und Bindegewebsvermehrung während der Immobilisation schwächen den Eindruck, den man bei einer inspektorischen Beurteilung des Muskelatrophieausmaßes erhalten würde, doch erheblich ab.

3.2.

Ergebnisse der Umfang- und Hautfaltendickemessungen

Die Umfang- und Hautfaltendickemessungen, die im einzelnen unter 2.4. beschrieben sind, wurden terminlich mit den Plethysmographien gekoppelt. Daher gilt für diese Messungen dieselbe Einteilung in verschiedene Beobachtungsgruppen, wie sie in 3.3. dargestellt ist. Sämtliche erhaltenen Werte werden auch hier wieder im Seitenvergleich zwischen immobilisiertem und nicht immobilisiertem Bein interpretiert. Dazu werden die Mittelwerte entsprechender Messungen mit Hilfe des t-Tests für verbundene Stichproben bei zweiseitiger Fragestellung auf signifikante Unterschiede zwischen krankem und gesundem Bein hin überprüft. Aus wievielen Einzelwerten die Mittelwerte berechnet wurden, läßt sich aus der Zahl n ablesen. In den nun folgenden Tabellen sind diese Mittelwerte ($\bar{x}$) und ihre Standardabweichungen ($s_{\bar{x}}$) wiedergegeben. g bedeutet dabei wieder, daß der entsprechende Wert am nicht-immobilisierten (gesunden) Bein und k am immobilisierten (kranken) Bein erhoben wurde. Die bei den einzelnen Patienten gemessenen Werte sind wieder im Anhang aufgeführt. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen sind ebenfalls in Tabellenform dargestellt. Hierbei werden neben den Differenzen der Mittelwerte zwischen krankem und gesundem Bein die Höhe des mit dem t-Test errechneten Signifikanzniveaus y als $p < y$ angegeben. Ist der betreffende Unterschied nicht signifikant, so steht an entsprechender Stelle ein -.

3.2.1. Umfangsmessungen

3.2.1.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der unter 2.4.1 beschriebenen Umfangsmessungen aufgeführt. Die Maßeinheit beträgt dabei cm.

Oberschenkel, 20 cm proximal der Patellaoberkante

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=6)
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	51,25/52,12	49,77/52,91	49,93/53,36	49,92/52,25
$s_{\bar{x}}$	3,20/2,70	2,48/2,21	3,56/2,63	3,52/3,12

Oberschenkel, 10 cm proximal der Patellaoberkante

$\bar{x}$	42,50/43,00	42,32/44,32	43,14/44,79	42,67/44,17
$s_{\bar{x}}$	3,20/2,81	2,69/2,46	2,70/2,36	2,98/2,51

Unterschenkel, 22 cm distal der Patellaoberkante

$\bar{x}$	33,57/34,00	34,88/35,52	35,36/36,29	36,00/35,75
$s_{\bar{x}}$	3,10/1,41	2,92/2,90	3,67/3,59	2,85/3,05

Medialer Kniegelenkspalt

$\bar{x}$	36,83/36,83	39,61/38,67	40,92/39,21	38,42/37,67
$s_{\bar{x}}$	2,72/2,62	3,06/2,75	3,19/2,71	2,03/1,81

(cm)

3.2.1.2. Differenzen der Mittelwerte $d\bar{x}$ und Signifikanzniveau y

Um wieviel sich der Umfang durchschnittlich zwischen krankem und gesundem Bein unterschied und ob und auf welchem Niveau dieser Unterschied signifikant war, wird aus folgenden Tabellen ersichtlich. Die Maßeinheit für $d\bar{x}$ ist cm.

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=6)
Oberschenkel, 20 cm proximal der Patellaoberkante				
$d\bar{x}$	0,87	3,14	3,43	2,33
y	-	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p < 0,001$
Oberschenkel, 10 cm proximal der Patellaoberkante				
$d\bar{x}$	0,50	2,00	1,64	1,50
y	-	$p < 0,002$	$p < 0,02$	$p < 0,01$
Unterschenkel, 22 cm distal der Patellaoberkante				
$d\bar{x}$	0,42	0,64	0,93	0,25
y	-	$p < 0,01$	$p < 0,05$	-
Medialer Kniegelenkspalt				
$d\bar{x}$	0,00	0,94	1,71	0,75
y	-	$p < 0,01$	$p < 0,01$	-
(cm)				

3.2.2. Hautfaltendickemessungen

Die Anzahl der Hautfaltendickemessungen n ist durchwegs geringer als bei den anderen Messungen. Dies erklärt sich daraus, daß es des öfteren nicht möglich war, eine Hautfalte so abzuheben, daß sie zwischen den zwei Backen des Hautfaltenmeßgeräts eingeklemmt werden konnte, weil das Gewebe zu straff war.

3.2.2.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen

Einheit: mm

Ventralsche Oberschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=9)	Gruppe C (n=6)	Gruppe D (n=4)
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	14,72/14,30	14,70/11,46	13,55/11,92	10,60/10,85
$s_{\bar{x}}$	3,54/4,91	3,09/2,57	2,77/2,85	1,45/0,98

Laterale Unterschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=10)	Gruppe C (n=6)	Gruppe D (n=4)
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	10,60/9,90	10,86/9,05	10,90/9,23	8,85/6,98
$s_{\bar{x}}$	1,07/2,09	3,32/3,03	2,66/2,97	1,08/1,04

Mediale Unterschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=8)	Gruppe C (n=5)	Gruppe D (n=4)
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	10,37/8,03	9,92/6,51	9,52/6,82	7,40/6,55
$s_{\bar{x}}$	1,03/0,87	2,24/0,89	1,79/1,64	2,65/1,64

(mm)

3.2.2.2. Differenzen der Mittelwerte $d\bar{x}$ und Signifikanzniveau y
 Die Tabelle zeigt, in welchem Ausmaß sich die Hautfalten zwischen krankem und gesundem Bein unterschieden und ob dieser Unterschied signifikant war und auf welchem Signifikanzniveau. Differenz der Mittelwerte $d\bar{x}$ in mm.

Ventrale Oberschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=9)	Gruppe C (n=6)	Gruppe D (n=4)
$d\bar{x}$	0,42	3,24	1,63	0,25
y	-	$p < 0,01$	-	-

Laterale Unterschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=10)	Gruppe C (n=6)	Gruppe D (n=4)
$d\bar{x}$	0,70	1,81	1,67	1,87
y	-	$p < 0,05$	-	-

Mediale Unterschenkelseite

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=8)	Gruppe C (n=5)	Gruppe D (n=4)
$d\bar{x}$	2,34	3,41	2,70	0,85
y	-	$p < 0,01$	$p < 0,01$	-

(mm)

3.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse der Umfang- und Hautfaltendickemessungen

Die Umfangmessungen ergaben, daß es keine von vornherein bestehenden Differenzen zwischen krankem und gesundem Bein gab. Die Umfänge der beiden Beine unterschieden sich weder am Oberschenkel noch am Unterschenkel, noch am Kniegelenk, das ja in allen Fällen von der Erkrankung betroffen war, in signifikanter Weise.

Nach der sechswöchigen Ruhigstellung kam es dann an dem 20 cm proximal der Patellaoberkante gemessenen Wert zu einem um durchschnittlich 3,14 cm geringeren Umfang des ruhiggestellten Beines, bei Kontrolle nach einer Woche um 3,43 cm, und dann bei Gruppe D, also in mindestens vierwöchigem Abstand zur Beendigung der Immobilisation war das kranke Bein um mittlere 2,33 cm dünner. Diese Unterschiede waren statistisch immer signifikant. Auch der bei 10 cm proximal der Patellaoberkante gemessene Umfang war am kranken Bein signifikant geringer als am gesunden und in allen drei Gruppen, d.h. sofort nach Gipsentfernung (um 2,00 cm), eine Woche danach (um 1,64 cm) und mindestens vier Wochen danach (um 1,50 cm) zu reproduzieren. Die Umfangsminderung des Unterschenkels des kranken Beins von durchschnittlich 0,64 cm bei Beendigung der Gipsimmobilisation betrug eine Woche später im Durchschnitt 0,93 cm und war statistisch beide Male signifikant. Bei der späteren Kontrolluntersuchung (Gruppe D) war

am Unterschenkel kein signifikanter Umfangsunterschied mehr vorhanden.

Wie unschwer zu erklären und mit den klinischen Erfahrungen im Einklang stehend war das Kniegelenk des immobilisierten Beins, das ja in allen außer zwei Fällen operativ therapiert worden war, bei Gipsentfernung dicker als das kontralaterale Kniegelenk. Diese Schwellung des Kniegelenks bewirkte für die Gruppe B eine mittlere Umfangsdifferenz von 0,94 cm, für die Gruppe C von 1,71 cm, in beiden Fällen ein statistisch signifikanter Wert. Bei den Messungen der Gruppe D betrug dieser Unterschied noch 0,75 cm, die das kranke Kniegelenk im Mittel mehr an Umfang bot als das gesunde, intakte. Signifikanz wurde zu diesem Zeitpunkt allerdings verfehlt.

Auch bei den Bestimmungen der Hautfaltendicke läßt sich für die Gruppe A kein Unterschied zwischen kranken und gesundem Bein statistisch sichern, d.h. es ist keine, schon vor der Immobilisation bestehende Differenz zu erheben.

In Gruppe B jedoch, also bei Gipsabnahme waren die Hautfalten sowohl am Oberschenkel (14,7 mm zu 11,46 mm), als auch an der Innenseite des Unterschenkels (9,92 mm zu 6,51 mm), genau wie an der Außenseite des Unterschenkels (10,86 mm zu 9,05 mm) am gerade von seinem Gips befreiten Bein statistisch signifikant dicker als an der kontralateralen Extremität.

Eine Woche später (Gruppe C) war die noch bestehende

Differenz von 1,63 mm am ventralen Oberschenkel, und von 1,67 mm am lateralen Unterschenkel nicht mehr signifikant, die mediale Seite des vormals eingegipsten Unterschenkels hatte rechnerisch ein signifikantes Plus von 2,70 mm zum vormals nicht-immobilisierten Bein bewahrt.

Die Hautfalten der Gruppe D, also in einem Abstand zur stattgehabten Ruhigstellung waren weder am Oberschenkel, noch an der lateralen oder medialen Seite des Unterschenkels in signifikanter Weise dicker oder dünner als am gesunden.

Umfangmessungen und Hautfaltendickemessungen sind, solange das Bein eingegipst ist, nicht praktikabel und überwachen die postimmobilisatorische Periode. Die computertomographischen Untersuchungen haben die Immobilisationsphase als Beobachtungszeitraum. Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme werden also sowohl mit Hilfe des Computertomogramms als auch mit Umfangs- und Hautfaltendickemessungen Befunde über den Extremitätenzustand erhoben. Dabei zeigt sich, daß die erhaltenen Ergebnisse sich decken. Die radiologisch nachgewiesene Zunahme der Hautfaltendicke am ruhiggestellten Bein schlug sich auch bei der mechanischen Messung dieses Parameters als signifikanter Unterschied im "krank-gesund-Vergleich" nieder.

Auch der mit den Maßbandmessungen festgestellte signifikant geringere Umfang des immobilisierten Beins findet in den computertomographischen Untersuchungen

seine Bestätigung. Der bei der Auswertung der CT-Bilder als Fläche des Gesamtquerschnitts bezeichnete Wert umfaßt dieselben Anteile des Beins und hatte während der Immobilisation an der gesunden Extremität zu- und an der kontralateralen Seite abgenommen.

3.3. Plethysmographie

Gemäß des zeitlichen Abstands zur Immobilisationsperiode wurden die Plethysmographien in vier verschiedene Gruppen eingeteilt:

Gruppe A: Darin finden sich alle Untersuchungsergebnisse von Patienten, bei denen schon vor der Gipsbehandlung eine Plethysmographie durchgeführt werden konnte ($n = 4$).

Gruppe B: Hierunter fallen alle Plethysmographien, die entweder noch am Tag der Gipsentfernung oder am ersten bzw. zweiten Tag danach geschrieben wurden ($n = 11$).

Gruppe C: Die Kontrolluntersuchungen im Abstand von durchschnittlich 8 Tagen nach Gipsabnahme (2 am siebten, 2 am achten, 2 am neunten und 1 am elften) wurden zu dieser Gruppe zusammengefaßt ($n = 7$).

Gruppe D: Diese Gruppe enthält alle Untersuchungen, die in längerem Abstand nach der Immobilisationsperiode durchgeführt wurden. Im einzelnen betragen die Abstände vom Tag der Gipsentfernung 25 Tage, 34 Tage, 35 Tage, 84 Tage, 103 Tage und 118 Tage ($n = 6$).

3.3.1.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der unter 2.5.2. im einzelnen beschriebenen Messungen sind getrennt für die Gruppen A bis D den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. Die Einheit für die Werte für die

Ruhedurchblutung, reaktive Hyperämie, peak-flow und für den venösen Abstrom beträgt dabei $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$, für den Wert der Venenkapazität als zeitunabhängiger Wert $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}} \right]$, und für die Halbwertszeit des venösen Ausstroms [Sekunden]. k (krank) steht wieder für das immobilisierte Bein, g (gesund) bedeutet, daß der Wert am nicht-immobilisierten Bein gemessen wurde.

Ruhedurchblutung

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	2,19/2,02	1,97/1,78	1,98/2,12	2,84/1,98
$s_{\bar{x}}$	1,21/0,86	0,93/0,84	0,38/0,81	0,68/0,62

reaktive Hyperämie

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
1. Sofortwert				
$\bar{x}$	17,13/13,66	14,27/14,83	10,21/12,55	12,68/13,03
$s_{\bar{x}}$	5,83/7,56	5,68/4,95	1,72/4,68	2,86/3,75

2. 15-Sekunden-Wert

$\bar{x}$	18,62/16,31	9,87/12,60	7,92/9,49	9,36/11,20
$s_{\bar{x}}$	5,14/2,92	6,83/5,82	3,05/4,40	4,92/5,47

3. 30-Sekunden-Wert

$\bar{x}$	8,07/6,50	5,15/4,06	3,70/5,32	4,98/4,11
$s_{\bar{x}}$	3,12/3,16	4,80/2,35	0,69/3,20	2,83/1,52

084.

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
4. 1-Minuten-Wert				
$\bar{x}$	3,20/2,61	2,32/2,88	2,44/3,40	2,85/2,27
$s_{\bar{x}}$	1,62/1,44	1,46/2,63	0,71/2,36	1,76/1,05

Venenkapazität

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
1. 1-Minuten-Wert				
$\bar{x}$	1,74/1,54	1,22/1,20	1,13/1,45	1,51/1,28
$s_{\bar{x}}$	0,89/0,94	0,51/0,58	0,25/0,61	0,62/0,17

2. 2-Minuten-Wert

$\bar{x}$	2,63/2,52	1,73/1,92	1,59/2,15	2,12/1,99
$s_{\bar{x}}$	0,92/1,04	0,68/0,64	0,26/0,67	0,81/0,33

3. 3-Minuten-Wert

$\bar{x}$	3,07/3,07	2,06/2,45	1,83/2,64	2,44/2,44
$s_{\bar{x}}$	0,78/1,05	0,72/0,65	0,30/0,72	0,84/0,45

4. 4-Minuten-Wert

$\bar{x}$	3,27/3,24	2,27/2,83	1,96/2,95	2,58/2,72
$s_{\bar{x}}$	0,72/1,01	0,77/0,68	0,31/0,74	0,85/0,54

Venöser Abstrom

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	46,80/44,50	25,11/32,50	24,56/32,20	32,46/38,09
$s_{\bar{x}}$	15,29/14,68	7,91/7,76	7,20/6,70	7,11/6,30

Halbwertszeit des venösen Abstroms

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	2,85/3,06	3,44/3,20	3,29/3,31	3,73/3,08
$s_{\bar{x}}$	0,63/0,97	0,82/0,54	0,60/0,65	1,17/0,30

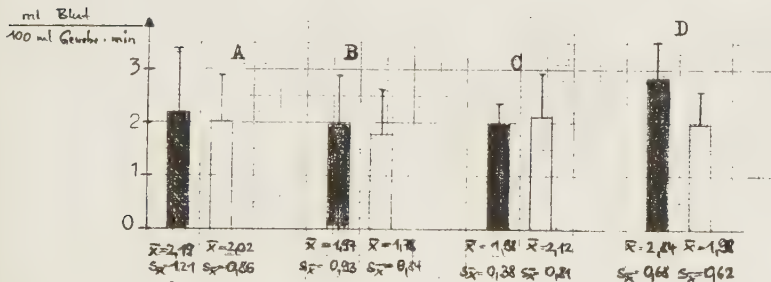
peak-flow

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
	k / g	k / g	k / g	k / g
$\bar{x}$	22,01/17,91	14,50/16,83	11,20/13,62	14,56/15,77
$s_{\bar{x}}$	4,27/5,11	5,46/3,55	1,38/4,05	2,35/3,73

3.3.1.2. Histogramme

Die Histogramme veranschaulichen die in den Tabellen dargestellten Ergebnisse. Man beachte die jeweils verschiedenen Ordinatenkalierungen. Die zu den Mittelwerten führenden Einzelergebnisse sind dem Anhang zu entnehmen. Dunkel: immobilisiert, hell: nicht-immob.

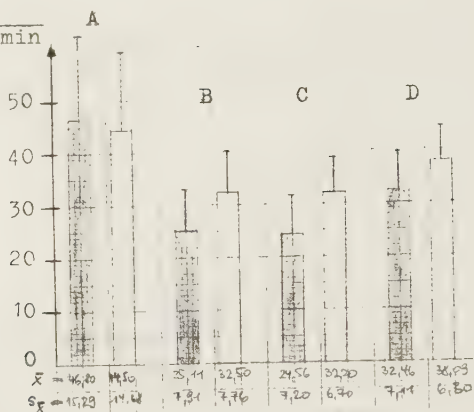
Ruhedurchblutung



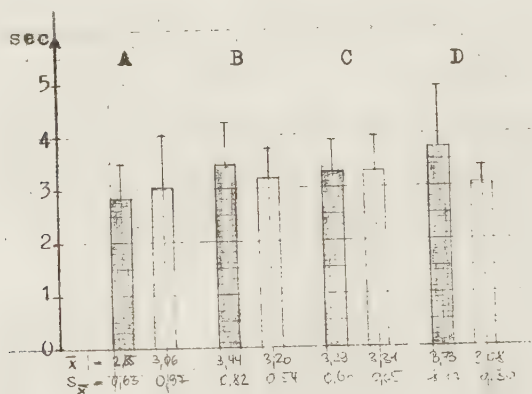
Venöser Ausstrom

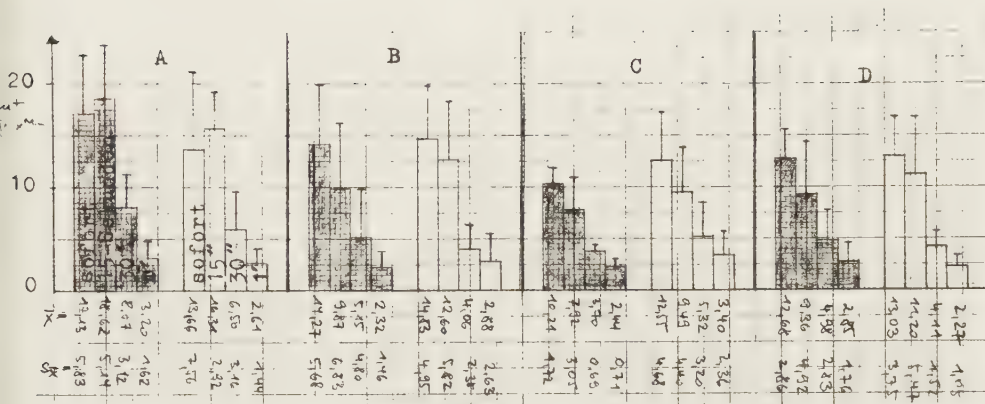
ml Blut

100ml Gewebe · min

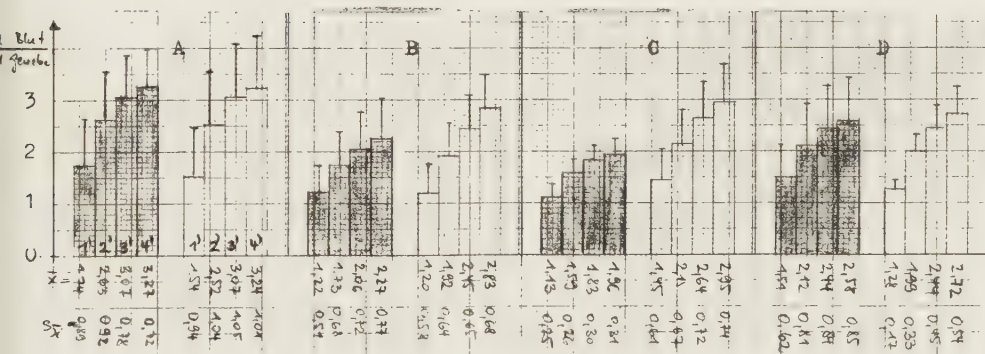


Halbwertszeit des venösen Ausstroms

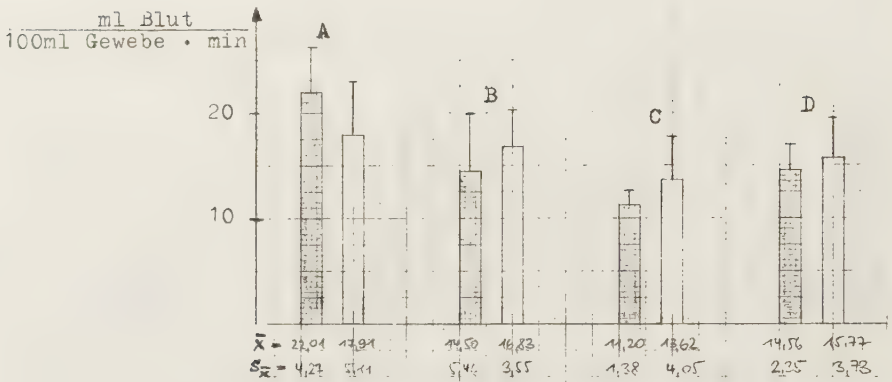




Venenkapazität



peak-flow



3.3.2. Statistische Auswertung

Um die Mittelwerte der Ruhedurchblutung, der 4-Minuten-Werte der Venenkapazität, des peak-flow der reaktiven Hyperämie und des venösen Ausstroms von immobilisiertem und nicht-immobilisiertem Bein miteinander zu vergleichen und ihren Unterschied auf Signifikanz zu untersuchen, wurden für alle oben beschriebenen Gruppen (A, B, C, D) t-Teste für verbundene Stichproben ausgeführt.

3.3.3. Zusammenfassung der Plethysmographie-Ergebnisse
Bei einem orientierenden Vergleich der von uns gemessenen Werte mit in der Literatur angegebenen, weit differierenden Normalwerten und mit von anderen Autoren erlangten Werten (5, 16, 27, 56, 69) zeigt sich, daß alle von uns erlangten Ergebnisse, und zwar an beiden Beinen, in diesem Bereich liegen.

Da die Extremitätendurchblutung einer Reihe von Einflüssen, wie zum Beispiel Blutdruck, Mobilisationsgrad, Körpertemperatur, Zimmertemperatur (ein klimatisierter Raum stand uns leider nicht zur Verfügung) u.a. unterworfen ist, die zu den verschiedenen Zeitpunkten der plethysmographischen Messungen nicht konstant gehalten werden konnten, andererseits diese Einflüsse aber stets auf beide Beine des Untersuchten einwirken, ist für unsere Untersuchungen der Seitenvergleich zwischen immobilisiertem und nicht-immobilisiertem Bein von Interesse, da damit die Wirkung der Gipsbehandlung abzuschätzen ist.

Inwieweit ergab sich dabei ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Beinen?

Bei den Mittelwertvergleichen der Ruhedurchblutung zeigte sich, daß diese sich bei den Messungen vor der Ruhigstellung (Gruppe A), unmittelbar nach Gipsabnahme

(Gruppe B) und bei der Kontrolluntersuchung eine Woche darauf (Gruppe C), zwischen krankem und gesundem Bein nicht in signifikanter Weise unterschieden. Die Mittelwerte lagen in der Gruppe A um 0,17, in der Gruppe B um 0,19 und in der Gruppe C um 0,14 $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$ auseinander. Hingegen war die Ruhedurchblutung am ehemals immobilisierten Bein dann zum Zeitpunkt der Messungen der Gruppe D schwach signifikant höher ($p < 0,05$). Am gesunden Bein betrug der Mittelwert 1,98 $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$, am kranken 2,84. Der postischämische maximale Blutfluß, der peak-flow, der bei den Messungen vor Immobilisation am kranken Bein im Mittel 4,21 (22,01 zu 17,80) $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$ stärker war, zeigte bei allen Messungen nach der Ruhigstellung entgegengesetztes Verhalten. Für die Gruppen B und C, also unmittelbar nach Gipsabnahme und eine Woche später, lag der peak-flow am nicht-immobilisierten Bein in der Gruppe B um 2,33 (14,50 zu 16,83) und in der Gruppe C um 2,42 (11,20 zu 13,62) $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$ höher als am immobilisierten. Dieser Unterschied war bei den Messungen in einigem zeitlichen Abstand zur Immobilisation (Gruppe D) auf 1,21 (14,56 zu 15,77) $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$ gesunken. Beim statistischen Mittelwertvergleich mit Hilfe des t-Tests war aber für alle diese Werte des Spitzenblutflusses nach dreiminütiger Ischämiezeit der Unterschied zwischen immobilisiertem und nicht-immobilisiertem Bein nicht signifikant ($p > 0,05$).

Ein anderes Ergebnis ergaben die plethysmographischen Bestimmungen der Venenkapazität nach vierminütiger Drosselung des venösen Abflusses. Zwischen krankem und gesundem Bein war vor der Immobilisation kein Unterschied festzustellen. Nach der Immobilisation (Gruppe B) war der Wert der Venenkapazität am gesunden Bein um durchschnittlich $0,56 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}} \right]$ höher als am kranken (2,27 zu 2,83). Diese Differenz war sogar in Gruppe C mit $0,99 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}} \right]$ noch stärker ausgeprägt (1,96 zu 2,95). Im t-Test lag das Signifikanzniveau dieser Differenz für die Gruppe B bei $p < 0,02$ und war damit höher als für die Gruppe C ($p < 0,05$). Bei den Kontrolluntersuchungen in längerem zeitlichen Abstand nach der Gipsbehandlung war der Wert der Venenkapazität am vormals immobilisierten Bein wieder angestiegen ($2,58 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}} \right]$) und kein statistischer Unterschied zum anderen Bein ($2,72 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}} \right]$) mehr vorhanden.

Für den initialen Spitzenwert des venösen Ausstroms nach dem Öffnen der Staubinde lassen sich folgende Feststellungen treffen: Eine vor der Eingipsung (Gruppe A) bestehende signifikante Differenz des venösen Ausstroms ließ sich nicht nachweisen. In Gruppe B, also unmittelbar nach Gipsentfernung war der venöse Blutabstrom am gesunden Bein ($\bar{x} = 32,50 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gew.} \cdot \text{min}} \right]$) signifikant höher als am kranken ($\bar{x} = 25,11 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$). Auch für die Gruppe C, also eine Woche später, läßt sich die gleiche Aussage

treffen; am gesunden Bein betrug der Mittelwert 32,00, am kranken 24,56 $\left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$ (Signifikanzniveau $p < 0,02$).

In der nochmaligen Untersuchung des gleichen Wertes (venöser Abstrom) am venösen System in einigem zeitlichen Abstand zur Immobilisation (Gruppe D) unterschied sich der am nicht-ruhiggestellten Bein gemessene venöse Ausstrom ($\bar{x} = 38,09 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$) nicht mehr signifikant ($p > 0,05$) vom gleichen Parameter am ruhiggestellten Bein ($\bar{x} = 32,46 \left[\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{min}} \right]$). Zusammenfassend lassen sich zu den Ergebnissen der plethysmographische Untersuchungen folgende Aussagen treffen:

Das arterielle Gefäßsystem des immobilisierten Beins wird durch den über sechs Wochen liegenden Oberschenkelgips so geringfügig beeinträchtigt, daß eine auftretende Minderdurchblutung gegenüber dem gesunden Bein sowohl in Ruhe als auch als Spitzenwert der reaktiven Hyperämie statistisch nicht signifikant sind. Die Messungen der venösen Funktionen jedoch zeigen, daß die Venenkapazität durch die Immobilisationsperiode am kranken Bein signifikant abgenommen hat. Ebenso war der Wert des venösen Abstrom nach vierminütiger Stauzeit nach der Gipsbehandlung am kranken Bein signifikant geringer als am kontralateralen gesunden, was auf eine Beeinträchtigung der venösen Abflußbahn durch die Immobilisation schließen läßt. Die Veränderungen waren bei den Kontrolluntersuchungen mindestens vier Wochen nach Gipsentfernung nicht mehr nachzuweisen.

3.4. Hauttemperaturmessungen

Die Methode der Hauttemperaturmessung ist in 2.6. beschrieben. Da die Raumtemperatur während der Messungen in den Extremwerten von 19,4 °C bis 25,0 °C schwankte, lassen sich wieder nur die zur selben Zeit am immobilisierten und am nicht-immobilisierten Bein erhobenen Werte miteinander vergleichen. Dabei wird der Temperaturunterschied auf den Einfluß der durch die Ruhigstellung veränderten Durchblutung zurückgeführt. Die Auswertung der Hauttemperaturmessung erfolgte analog 3.2..

3.4.1. Tabelle der Mittelwerte und Standardabweichungen

Die zu den Zahlen der Mittelwerte und Standardabweichungen gehörende Einheit beträgt °C.

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=5)
	k / g	k / g	k / g	k / g
Patella				
$\bar{x}$	30,6/30,7	32,4/28,9	31,86/30,02	31,28/28,84
$s_{\bar{x}}$	0,61/0,39	1,53/1,79	1,35/2,06	2,57/0,96
ventrale Oberschenkelseite, 20 cm proximal der Patella				
$\bar{x}$	32,5/32,8	31,44/31,26	31,80/31,74	31,30/31,28
$s_{\bar{x}}$	0,44/0,45	1,89/1,55	1,58/1,66	1,74/1,40
ventrale Oberschenkelseite, 10 cm proximal der Patella				
$\bar{x}$	31,92/32,27	31,65/30,68	31,44/31,27	31,24/30,64
$s_{\bar{x}}$	0,95/0,68	1,71/1,55	1,95/1,62	2,52/1,73
(°C)				

Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=5)
k / g	k / g	k / g	k / g

mediales Drittel der Tibiakante

$\bar{x}$	32,87/32,92	31,00/30,84	31,36/31,69	31,78/32,00
$s_{\bar{x}}$	0,65/0,76	1,40/1,27	1,37/1,31	1,48/1,91

distales Drittel der Tibiakante

$\bar{x}$	31,82/32,27	29,87/29,75	30,60/30,40	30,24/30,94
$s_{\bar{x}}$	0,95/0,83	1,26/1,20	1,28/1,53	1,84/2,07

Vorfuß

$\bar{x}$	- / -	29,02/29,05	29,32/29,53	29,16/29,50
$s_{\bar{x}}$	- / -	2,55/2,22	3,14/2,78	1,77/1,94

(°C)

- 3.4.2. Differenzen der Mittelwerte $d\bar{x}$ und Signifikanzniveau y
 Die durchschnittlichen Temperaturunterschiede $d\bar{x}$
 zwischen krankem und gesundem Bein an den einzelnen
 Hautmeßpunkten und evtl. Signifikanzniveaus finden sich
 in folgenden Tabellen:

Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=5)
-------------------	--------------------	-------------------	-------------------

Patella

$d\bar{x}$	0,10	3,47	1,84	2,44
y	-	$p < 0,001$	$p < 0,02$	-

ventrale Oberschenkelseite, 20 cm proximal der Patella

$d\bar{x}$	0,30	0,18	0,06	0,02
y	-	-	-	-

	Gruppe A (n=4)	Gruppe B (n=11)	Gruppe C (n=7)	Gruppe D (n=5)
ventrale Oberschenkelseite, 10 cm proximal der Patella				
$\bar{d\bar{x}}$	0,35	0,97	0,17	0,60
y	-	$p < 0,01$	-	-
mediales Drittel der Tibiakante				
$\bar{d\bar{x}}$	0,05	0,16	0,33	0,22
y	-	-	-	-
distales Drittel der Tibiakante				
$\bar{d\bar{x}}$	0,45	0,12	0,20	0,70
y	-	-	-	-
Vorfuß				
$\bar{d\bar{x}}$	-	0,03	0,21	0,34
y	-	-	-	-
(°C)				

3.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Messungen der Hauttemperatur an jeweils sechs Stellen beider Beine konnte keinen vor der Ruhigstellung (Gruppe A) vorhandenen Unterschied zwischen den Extremitäten aufdecken.

Am Termin der Gipsentfernung (Gruppe B) war dann von den sechs miteinander verglichenen Stellen lediglich die Haut über der Patella um durchschnittlich 3,47 °C und die Haut 10cm proximal davon um durchschnittlich 1,00 °C am kranken Bein signifikant wärmer. Betrachtet man sich die dazu gehörigen Werte bei den entsprechen-

den Patienten im Anhang, so fällt auf, daß jeweils ein Einzelwert diese Temperaturdifferenz nicht aufweist: dieser war bei der einzigen Patientin, bei der der Immobilisation keine Kniegelenksoperation vorausgegangen war, erhoben worden. Daraus läßt sich schließen, daß die Überwärmung des Kniegelenks und der 10 cm proximal davon liegenden Hautstelle am kranken Bein eine Folge des operativen Vorgehens ist, zumal auch noch für alle anderen Hautstellen keine signifikanten Unterschiede ihrer Temperatur zu finden waren.

Auch eine Woche nach Gipsentfernung (Gruppe C) ist die Haut über der Patella am operierten Bein noch um mittlere $1,84^{\circ}\text{C}$ wärmer (statistisch signifikant) als am gesunden Bein. Alle an anderen Stellen gemessenen Hauttemperaturunterschiede sind nicht signifikant zwischen beiden Beinen.

Für die Gruppe D, also in längerem zeitlichen Abstand zur Immobilisation, ließ sich dann weder für die Haut über der Kniescheibe, noch am Oberschenkel, noch am Unterschenkel, noch am Vorfuß eine über den Zufall hinausgehende Temperaturdifferenz zwischen den beiden Beinen sichern. Man kann also die Aussage treffen, daß durch die sechswöchige Ruhigstellung mittels Oberschenkelgips keine durch Hauttemperaturmessungen nachzuweisende Durchblutungsdifferenzen entstanden.

4. Diskussion

Im Folgenden sollen die angewandten und oben beschriebenen Methoden anhand der darüber veröffentlichten Literatur und der eigenen Untersuchungen dahingehend diskutiert werden, inwieweit sie dazu geeignet sind, die bei einer Ruhigstellung eines Beins auftretenden morphologischen und funktionellen Beeinträchtigungen zu erfassen.

4.1. Computertomographie

Verschiedene Gewebestrukturen lassen sich mittels computertomographischen Untersuchungen auch bei geringen Dichteunterschieden gegeneinander abgrenzen. In weiten Bereichen der Medizin sind sie zur diagnostischen Routine geworden (1,13,43,82).

Die Ruhigstellung von Extremitäten stellt keine Indikation im klinischen Bereich dar, da eine Dokumentation der damit verbundenen Atrophie mittels CT zu teuer, die genaue Auswertung der gewonnenen Bilder zu aufwendig wäre und die wenn auch geringe Strahlenbelastung des Patienten nicht übersehen werden sollte. Für diesbezügliche wissenschaftliche Fragestellungen ist das CT jedoch hervorragend geeignet, weil es erlaubt, auf nicht invasive Weise selbst bei liegendem Gips eine exakte und getrennte Beobachtung von Muskel, Fett- und Bindegewebe durchzuführen und deren Veränderungen während einer Immobilisation zu erfassen. In der medizinischen Literatur sind nur wenige Veröffentlichungen über derartige Untersuchungen zu finden (14,15,32,34,

47,59,66).

Auf den von uns ausgewerteten computertomographischen Schnitten konnte der äußere Umfang des Beins durch planimetrische Messung sehr genau bestimmt werden. Neben der Bestimmung des Gesamtanteils, den die Muskulatur an der Querschnittsfläche einnimmt, lassen sich Muskelgruppen und Einzelmuskeln anhand ihrer anatomischen Lage identifizieren (28,90) und ihre Flächen einzeln ausmessen.

Die Abgrenzung der Einzelmuskeln auf den Computertomogrammen ist bei Schnitten durch die Oberschenkel leichter möglich als am Unterschenkel (66, eigene Erfahrungen). Außerdem sind mit zunehmenden Lebensalter die Muskeln auf den CT-Schnitten optisch leichter voneinander zu trennen (15, eigene Erfahrungen).

Neben der Bestimmung der Fläche, den ein Muskel einnimmt und der Verfolgung dieser Größe während der Immobilisation ist ein zusätzlicher Informationsgewinn mit Hilfe von Dichtemessungen möglich (15). Mit dieser Methode ist eine die Muskelatrophie verschleiernde Einlagerung von Fettgewebe innerhalb der Muskelfaszie aufzudecken, wie das z.B. bei einer Pseudohypertrophie der Fall ist (14). Bei einer reinen Inaktivitätsatrophie ist davon auszugehen, daß keine Einlagerung von Binde- und Fettgewebe innerhalb der Muskulatur stattfindet (67).

Die Muskulatur betreffende makroskopische Veränderungen

gen während der Ruhigstellung lassen sich also auf dem CT verfolgen, dabei einsetzende histologische Vorgänge und Umbauten des feingeweblichen Bildes sind nur mittels Muskelbiopsie möglich. Aus der Literatur liegen viele Veröffentlichungen darüber vor, sowohl an Tieren (17,48,61,80,87), als auch am Menschen (25, 32,33,34,77,79). Nach diesen Untersuchungen wird die Atrophie während einer Extremitätenruhistellung vor allen von einer vorherrschenden Rückbildung der Typ-I-Fasern (langsame, tonische, oxidative) bestimmt.

Man weiß weiterhin, welche Muskeln am Bein des Menschen je nach ihrer Funktion in bevorzugten Bewegungsabläufen (74) einen besonders hohen Anteil des einen oder anderen Fasertyps aufweisen (24,26) und daß die sogenannten Haltemuskeln innerhalb einzelner Muskelgruppen besonders zentral in der Extremität, also knochenah liegen (24). Berücksichtigt man diese Erkenntnisse, so wäre es mittels CT und geeigneter Abgrenzung von mehr zentral und mehr peripher gelegenen Muskeln einerseits und von bekannten Haltemuskeln und "schnellen" Muskeln (hoher Faser-II-Anteil) andererseits möglich, die feingeweblichen Untersuchungen zu überprüfen und so die von der Atrophie bevorzugt betroffenen Muskelfasern zu bestimmen.

Ebenso wie die muskulären Veränderungen zeigen die Computertomogramme auch die das Binde- und Fettgewebe betreffenden Reaktionen auf die Immobilisation auf. Außer einem subkutanen Binde- und Fettgewebe, das auch

als präfasziales Hautrohr bezeichnet wird (59), läßt sich auf den Schnitten durch die Oberschenkel auch noch das zwischen den Muskeln gelegene Binde- und Fettgewebe abgrenzen. Neben einer bloßen Beurteilung des Unterhautfettgewebes (59) finden sich Veröffentlichungen (32,34,47), die computertomographische Schnitte durch beide Beine getrennt nach Muskelflächen und Binde- und Fettgewebe planimetrisch auswerten. Dabei stimmen die eigenen Ergebnisse mit einer Arbeit (47), die den Oberschenkel nach fünf Wochen Gipsimmobilisation (im Gegensatz zu sechs Wochen in der eigenen) untersucht, darin überein, als daß dort eine Atrophie des m.quadriceps von 26 % beschrieben ist (gegenüber 27 % in der eigenen). Auch die von uns gefundene Substanzerhaltung aller anderen am Oberschenkel gelegenen Muskeln wird dort beschrieben. Allerdings finden wir im Gegensatz zu der dort vertretenden Auffassung einer nicht vorhandenen Änderung der Fett- und Bindegewebsflächen eine absolute Zunahme dieser Gewebsflächen und nicht nur eine relative Vermehrung dieser Gewebe bedingt durch die Atrophie der Muskulatur, wie es in einer anderen Arbeit des selben Autors zu lesen ist (46).

Neben einer Arbeit von Häggmark (32), der ebenfalls eine Zunahme des Fett- und Bindegewebes während einer Ruhigstellung mittels CT beobachtet, liegen auch Untersuchungen (21) mit anderen Methoden (22,49,50) vor, die sowohl hinsichtlich der Fett- und Bindegewebsver-

mehrung, als auch hinsichtlich der Abnahme des Gesamtvolumens und des Gesamtmuskelvolumens der immobilisierten Extremität zum gleichen Resultat wie wir gelangen. Für die von uns mittels CT (siehe 3.1.4) nachgewiesene schnellere Muskelatrophie in der Anfangsphase der Immobilisation gibt es entsprechende, mit anderen Methoden erhaltene Untersuchungsergebnisse (78). Die von Müller (64), Hettinger (39), Müller und Hettinger (65) beschriebene initial raschere Kraftabnahme entspricht diesem Befund, zumal wenn die Kraft proportional der Muskelfläche ist (40,44). Ein Vergleich unserer Untersuchungen mit der medizinischen Literatur unterstreicht die Richtigkeit unserer Ergebnisse. Die mangelnde methodologische Übereinstimmung mit anderen CT-Untersuchungen bezüglich Schnitthöhen und Auswertungsart usw. erklärt voneinander abweichende Resultate. Um in Zukunft die Vergleichbarkeit und damit die Fruchtbarkeit derartiger Untersuchungen noch zu erhöhen, wäre es m.E. wünschenswert, solche Untersuchungen vor allem bezüglich Schnitthöhen und planimetrischer Abgrenzung und Auswertung der verschiedenen Gewebegruppen und Muskeln zu standardisieren. Das CT bietet die Möglichkeit, an größeren Fallzahlen bezüglich ihrer Ätiologie (neurogen, myogen, Inaktivität) unterschiedliche Atrophieverläufe zu differenzieren. Auf das Muster der von uns beobachteten Immobilisationsatrophie wirken sich außerdem noch eine Reihe von Einflußgrößen aus.

Neben der Verletzungsart (79), Schmerz (32,33), Trainingszustand (32,33,64) spielt für das Ausmaß der einen Muskel treffenden Atrophie nicht zuletzt die Position, in der er ruhiggestellt wird, eine große Rolle (32,33,70,78,86). Da man diese "Störgrößen" nie wird eliminieren können, werden die Schwankungen zwischen Einzelpersonen und verschiedenen Untersuchungen nie zu verhindern sein.

Eine genaue Kenntnis des Ausmaßes und des zeitlichen Ablaufs der bei aus ganz verschiedenen Gründen einsetzenden und unterschiedlich ausgestalteten Atrophiemustern stellt jedoch die unabdingbare Voraussetzung für den effektiven Einsatz von atrophieverhindernden oder zumindest -abschwächenden Behandlungsmethoden in der Physikalischen Medizin dar, deren Erfolg dann wieder mittels CT überprüft werden könnte.

4.2. Umfangsmessungen

Es ist im klinischen Bereich üblich, Ergüsse, Ödeme, Muskelhypertrophie und -atrophie an Extremitäten durch Umfangmessungen mit dem Maßband zu objektivieren und damit ihren Verlauf zu beobachten und zu dokumentieren. Die Methode ist schnell und problemlos überall anzuwenden.

Auch für wissenschaftliche Untersuchungen haben zahlreiche Autoren auf diese Methode zurückgegriffen (67, 71, 72, 83,92). Rosemeyer (73,74) kommt bei einem Vergleich von Umfangmessungen mit EMG-Registrierungen und

tierexperimentellen Befunden zum Schluß, daß Umfangs-
differenzen des Oberschenkels nach Gipsimmobilisation
geeignet sind, den Atrophiegrad des m. quadriceps
femoris zu beurteilen.

Andere Veröffentlichungen bestreiten den Wert der Um-
fangmessungen bei der Atrophieabschätzung und treffen
die Aussage, daß diese Methode als ungeeignet anzuse-
hen ist, das Ausmaß der Atrophie exakt zu bestimmen,
weil zwischen Umfang und Atrophiegrad keine Korrela-
tion zu finden war (21,52,67).

Bei unseren eigenen Untersuchungen erwiesen sich als
entscheidende Nachteile von Umfangmessungen zum Zweck
der Bestimmung der durch die Immobilisation bedingten
Muskelatrophie am Oberschenkel, daß damit

1. nicht zwischen Muskulatur und Fett- und Bindegewe-
be differenziert werden kann und
2. auch für die Muskulatur nur eine Gesamtbeurteilung
und nicht eine weitere Unterscheidung zwischen ein-
zelnen Muskelgruppen möglich ist.

Nimmt man, wie allgemein gebräuchlich, die Umfangs-
differenz zum gesunden Bein als Maß für die Muskel-
atrophie, die durch den Oberschenkelgipsverband ver-
ursacht wurde, so trägt man dabei der von uns mittels
CT-Aufnahmen nachgewiesenen durchschnittlich zwanzig-
prozentigen Zunahme des Unterhautfettgewebes am immo-
bilisierten Bein nicht Rechnung. Das bedeutet, daß eine
alleinige Umfangmessung mit dem Maßband zu einer dra-
stischen Unterbewertung der Muskelatrophie führt.

Während der Remobilisation und des damit verbundenen krankengymnastischen Muskeltrainings nimmt die Substanzvermehrung des praefaszialen Raums wieder ab (siehe Ergebnisse der Hautfaltendickemessungen in 3.2.3.). Während dieser Zeit bringt eine Dokumentation der Umfangszunahme des remobilisierten Beins mittels Maßbandmessungen also eine Unterschätzung des muskulären Wiederaufbaus mit sich.

Auch sollte bedacht werden, daß eine absolute Umfangsänderung je nach Ausgangslage eine sehr verschiedene Substanzänderung ausdrückt. Kann man davon ausgehen, daß sich Fett- und Bindegewebe während einer Ruhigstellung quantitativ nicht wesentlich ändern, wie für den Unterschenkel nach Unterschenkelgipsverband gezeigt werden konnte (vergleiche Dissertation Hoffmann (42)), so hat man mit dem Maßband ein akzeptables Hilfsmittel zur Abschätzung der Muskelatrophie zur Hand.

Einige Autoren haben durch zusätzliche rechnerische Bestimmungen des Extremitätenvolumens aus Umfangmessungen versucht, den Informationsgehalt dieser Methode zu erhöhen (46,50,57,58,59). Den bei der Beurteilung der Muskelatrophie bestehenden Schwierigkeiten (s.o.) kann damit nicht abgeholfen werden. Insgesamt läßt sich also feststellen, daß die Umfangmessung bei Berücksichtigung der ihr innewohnenden Grenzen bezüglich Aussagekraft über den Atrophieverlauf im klinischen Bereich nur bedingt geeignet erscheint,

für diesbezügliche wissenschaftliche Fragestellungen jedoch sehr wenig bietet.

4.3. Hautfaltendickemessungen

Eine rasche, wenig aufwendige und in geschickter Hand zufriedenstellend genaue Möglichkeit, die Hautfaltendicke einer Extremität zu beurteilen, ist die Messung mittels eines speziell zu diesem Zweck gebauten Meßzirkels (skinfold caliper). Die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten bestehen darin, daß die Methode bei adipösen Menschen zunehmend ungenauer wird (35, eigene Erfahrungen) und es andererseits bei sehr straffem Unterhautfettgewebe oft nicht möglich ist, eine Hautfalte in einer der Messung zugänglichen Weise abzuheben (eigene Erfahrungen). Es werden Untersuchungen beschrieben, die die Exaktheit dieser Art von Bestimmung des Ausmaßes von Haut und Subkutangewebe im Vergleich mit anderen dazu geeigneten Verfahren überprüfen.

Sowohl Ultraschall-Messungen (35), radiologische Bestimmungen mittels Weichteil-Röntgenstrahlen (21,50), als auch die "direkte Messung", d.h. das Verschieben eines Stahlstäbchens durch die Haut bis zur Muskelfaszie (46) beschreiben eine hohe Korrelation zu der von uns angewandten Meßzirkel-Methode.

In einem Vergleich mit computertomographisch erhobenen Ergebnissen wird ebenfalls der Meßzirkel als geeignet befunden, die Hautfaltendicke einer Extremität festzustellen (47).

Eine Gegenüberstellung der eigenen Meßergebnisse ergibt bei der Computertomographie eine durchschnittlich 25prozentige Zunahme der Hautfaltendicke und für die Meßzirkelmethode eine Differenz von durchschnittlich 28 Prozent zur gesunden Seite am Oberschenkel nach der sechswöchigen Gipsruhigstellung. Dies muß u.E. als zufriedenstellende Übereinstimmung der beiden Methoden gelten.

Eine Kombination von Umfangmessungen und zusätzlichen Hautfaltendickemessungen wäre nach unseren Untersuchungen sinnvoll. Damit steigt der Wert von Umfangmessungen für die Einschätzung des Substanzverlustes der Muskulatur nach Immobilisation. Für ein gezieltes Wiederaufbau-Training der Muskulatur fehlt damit aber immer noch die Information über bevorzugt atrophiierte Muskelgruppen.

4.4. Plethysmographie

Die Venenverschlußplethysmographie ist eine anerkannte Methode zur Untersuchung des Blutflusses. Das für unsere Messungen angewandte Verfahren, über einen quecksilbergefüllten Silikonschlauch und darin auftretenden elektrischen Widerstandsänderungen die Volumenzunahme der gestauten Extremität zu messen, wurde von Whitney (91) erstmals beschrieben und dann von Gutmann (31) in den klinischen Gebrauch eingeführt.

Neben der Verwendung zur Diagnostik und zur Verlaufskontrolle stützen sich zahlreiche klinische Studien

über Veränderungen am arteriellen und venösen Gefäßsystem auf dieses Verfahren. Vergleicht man die mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie möglichen Informationen über den Gefäßstatus mit den Ergebnissen anderer dazu geeigneter Methoden, wie 133-Xenon-Muskelclearance (7), Doppler-Sonographie (53,54), mechanische Oszillographie (54), intravasale Venendruckmessung (54) und Arterio- und Phlebographie (75), so zeigt sich der hohe Wert bei quantitativen Durchblutungsmessungen mit Hilfe der Dehnungsmeßstreifen-Stauplethysmographie. Die Vorzüge der Methode liegen sowohl in der einfachen Durchführbarkeit, fehlender Invasivität und daher beliebiger Wiederholungsmöglichkeit, als auch im hohen Informationsgehalt.

Bei exakter Ausführung (7,11,16,27,36) kann die Fehlerbreite vernachlässigt werden und sowohl quantitative wie auch qualitative, funktionelle Aussagen sind möglich (7,75).

Die Messung der Ruhedurchblutung und der reaktiven Hyperämie nach Unterbrechung des arteriellen Einstroms sind zur Beurteilung von Stenosen, Kollateralkreisläufen, Funktion und Gefäßbett der arteriellen Seite geeignet, wobei im Gegensatz zur Ruhedurchblutung, deren Beeinträchtigung erst bei massiver Schädigung zu erwarten ist, die reaktive Hyperämie einen sehr empfindlichen Meßparameter darstellt (3,4,10,12,27,41,53,60,68,75,81). Neben einer Verminderung ist auch ein verzögertes Auftreten des maximalen postischämischen Blutflusses

(peak-flow) ein Zeichen für eine Schädigung des arteriellen Gefäßsystems (41,75). Liegt der Dehnungsmeßstreifen wie bei allen von uns durchgeführten Plethysmographien an der Wade, so werden die erhobenen Werte zum überwiegenden Anteil von der Muskeldurchblutung bestimmt (19,55,63,84).

Die venöse Seite des Gefäßbettes wird durch die Bestimmung der Venenkapazität und des venösen Ausstroms beurteilt. Dabei sollen vor allem Varikosis, Thrombosen, Mikrothrombi, venöse Stase und postthrombotisches Syndrom zur Aufdeckung kommen (56,76).

Es finden sich in der Literatur Veröffentlichungen, die mittels Venenverschlußplethysmographie inaktivitätsbedingte Veränderungen untersuchen. So befaßten Mediaty und Arnold (62) und Rachor (69) sich mit Lähmungen, Kelleroova u. a. (51) mit operativ versorgten Unterschenkelfrakturen. Kroese (56) führte nach Gipsimmobilisation der unteren Extremität plethysmographische Messungen durch. Der Gegenstand seiner Untersuchung entspricht damit weitgehend der vorliegenden Arbeit. Die Ergebnisse stimmen dahingehend überein, als daß am Ende der Immobilisationsperiode keine Unterschiede zwischen ruhiggestelltem und krankem Bein für die Werte der Ruhedurchblutung bestehen. Die von Kroese gefundene signifikante Einschränkung des postischämischen maximalen Blutflusses am kranken Bein konnte nicht nachvollzogen werden. Die Differenz zum gesunden Bein war in der eigenen Untersuchung nicht signi-

fikant. Dagegen fanden wir eine durch die Immobilisation signifikant verringerte venöse Kapazität und eine signifikante Verlangsamung des venösen Ausstroms am kranken Bein nach der Gipsabnahme. Kroese beschreibt zum gleichen Zeitpunkt keine signifikant zwischen gesundem und krankem Bein differierende Meßergebnisse am venösen System.

Es sind eine Reihe von funktionellen und morphologischen Beeinträchtigungen des Gefäßsystems beschrieben, die während einer Ruhigstellung einer Extremität und der dabei auftretenden Muskelatrophie zu beobachten sind und die somit als Erklärung der plethysmographischen Untersuchungsergebnisse in Frage kommen: Während der Ruhigstellung erhalten die Arteriolen selten Reize, die zur Vasodilatation führen, wodurch ihre Fähigkeit zur postischämischen Dilatation herabgesetzt sein könnte (56). Auch auf der kapillären Ebene treten während der Immobilisation Veränderungen auf: Ein von der Inaktivitätsatrophie betroffener Muskel enthält weniger funktionelle Kapillaren als ein gesunder Muskel (7). Zwar stimmen feingewebliche Untersuchungen in der Aussage überein, daß Muskeltraining zur Zunahme (2,38.89) und gegenläufig Inaktivität zur Abnahme der Kapillarisation (Kapillaren/Muskelfaser) führen (80). Die daraus resultierende morphologische Kapillardichte (Kapillaren/Gewebsfläche) nimmt nach tierexperimentellen Befunden hingegen nicht ab (80,85). Da sich die plethysmographischen Messungen auch auf ein

definiertes Gewebsvolumen beziehen, kommt wohl dem Begriff der Kapillardichte die höhere Bedeutung zu. Weiterhin zeigt die klinische Erfahrung, daß Immobilisation einer Extremität oft einen ätiologischen Faktor für die Entstehung von Thrombosen darstellt.

Neben der direkten Beeinträchtigung des Gefäßsystems durch die Ruhigstellung haben eine Reihe von Einflußgrößen ihre Wirkung auf die Durchblutungsmessungen: So führen subkutanes Ödem, Indurationen und Vermehrung der Cutis und des Unterhautfettgewebes, wie sie bei der Ruhigstellung beschrieben werden, zur Verminderung der Venenkapazität, des venösen Abstroms (76) und des arteriellen Einstroms (12). Außerdem wurde beschrieben, daß bei kleinerem Umfang der Extremität (atrophisiertes Bein) bei gleichem Staudruck der arterielle Einstrom eher beeinträchtigt wird, was einen kleineren Wert für die Ruhedurchblutung und die reaktive Hyperämie am ruhiggestellten Bein nach sich ziehen könnte.

Als Erklärung für einen nicht vorhandenen Unterschied der gemessenen Werte für die Ruhedurchblutung und für die reaktive Hyperämie zwischen gesundem und über sechs Wochen ruhiggestelltem Bein kämen in Betracht: Die Ruhigstellung hat weder Einflüsse auf die Kapillardichte noch funktionelle Änderungen der arteriellen Strombahn verursacht, die sich auf die Werte für die Ruhedurchblutung und für den postischämischen maximalen Blutfluß durchschlagen. Es könnten sich aber auch gegensinnige Auswirkungen aufheben, ein Reiz im Sinne

einer Durchblutungssteigerung (6,51) wie die vorausgegangene Operation oder Verletzung vor der Immobilisationsperiode ist möglicherweise durch die ruhigstellungsbedingten, durchblutungssenkenden Einflüsse kompensiert worden.

Die gemessenen herabgesetzten Werte für die venöse Kapazität und die langsamere Entleerungsgeschwindigkeit der gestauten Venen fänden ihre Erklärung auf verschiedene Arten: Nach Rudofsky (76) spricht diese Kombination entweder für eine wenn auch nur geringe Thrombosierung kleiner venöser Gefäße des ruhiggestellten Beins, eine Abnahme der auch bei Gesunden vorhandenen "physiologischen Varikosis" des ruhiggestellten Beins oder, da die Messungen immer im Seitenvergleich zur Beurteilung kommen, für eine "variköse Tendenz" des gesunden Beins während der Ruhigstellung der kontralateralen Extremität. Die mittels den CT-Aufnahmen am Oberschenkel gefundene durchschnittlich zwanzig-prozentige Vermehrung des Unterhautfettgewebes des eingegipsten Beines erstreckt sich, wie die Hautfaltdickemessungen zeigen, auch auf den Unterschenkel. Die möglicherweise damit verbundene Zunahme des Gewebedrucks wäre eine akzeptable Erklärung der Untersuchungsergebnisse am venösen Gefäßsystem (76).

4.5. Hauttemperaturmessungen

Die Temperatur der Haut ist eine u.a. von der Hautdurchblutung bestimmte Meßgröße (37). Exakter und objektiver

als mit dem Auge und Tastsinn des Untersuchers ist die Hauttemperaturmessung mittels des von uns verwendeten Meßgeräts (siehe 2.6.) möglich. Damit läßt sich sehr genau die Perfusion eines umschriebenen Hautareals bestimmen. An Extremitäten bietet sich die Möglichkeit, im Seitenvergleich Temperaturunterschiede festzustellen. Auf die darunterliegende Muskeldurchblutung lassen sich daraus keine Rückschlüsse ziehen, weil beide Gefäßgebiete sich verschieden verhalten und keine eindeutige Beziehung zueinander besteht (37,51). Mit unserer Arbeit vergleichbare Untersuchungen darüber, wie die Hauttemperatur und somit die Hautdurchblutung eines Beines von einem über sechs Wochen liegenden Oberschenkelgipsverband beeinflußt wird, liegen unseres Wissens nicht vor.

Komplikationen einer Ruhigstellung, wie z.B. Entzündungen, Sudeck'sche Reflexdystrophie, arterielle Durchblutungsstörungen oder Thrombosen hätten ihre Auswirkungen auf die Hauttemperatur und würden durch die Infrarot-messung zur Aufdeckung kommen (8,9,20). Sie ist somit zum Ausschluß solcher pathologischer Immobilisationsfolgen als geeignet anzusehen, nach unseren Messungen kann man davon ausgehen, daß bei komplikationslosem Verlauf der Ruhigstellung keine Beeinträchtigung der Hautdurchblutung zu erwarten ist. Außer einer leichten Überwärmung des Operationsgebiets, wie oben beschrieben (3.4.3.) waren beide Beine immer gleich warm.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit bemüht sich darum, die bei einer Ruhigstellung mittels Oberschenkelgipsverband auftretenden Veränderungen mit Hilfe verschiedener Methoden zu erfassen und Eignung und Aussagekraft dieser Methoden zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wurden Ablauf und Folgen der Immobilisation an zwölf Patienten mit durchschnittlich 38 (18 bis 46) Tagen liegendem Oberschenkelgipsverband beobachtet. Indikation für den Gips war bei allen Patienten eine Erkrankung im Bereich des Kniegelenks.

Die Ruhigstellungsperiode wurde dabei durch computertomographische Schnitte durch die Oberschenkel und deren planimetrische Auswertung erforscht, nach der Gipsabnahme kamen Plethysmographie, Hautfaltendicke-, Hauttemperatur- und Umfangsmessungen zum Einsatz. Alle Untersuchungen erfaßten immer die kontralaterale Extremität als Seitenvergleich und interne Kontrolle mit. Es wurde am ruhiggestellten Bein eine deutliche Zunahme der Fett- und Bindegewebsanteile und eine vorherrschend atrophierende Kniestreckmuskulatur gefunden. Das gesunde Bein zeigte währenddessen eine geringe Hypertrophie von Fett- und Bindegewebe und allen Muskelgruppen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Literatur wird die Aussage getroffen, daß es mit bloßen Umfangsmessungen nicht möglich ist, daß Ausmaß der Immobilisationsatrophie am Oberschenkel zu bestimmen, daß gleichzeitig durchgeführte

Hautfaltendickemessungen dazu geeignet sind, den Wert der Umfangsmessungen zu steigern, weil so eine muskela-trophieverschleiernde Vermehrung des Unterhautfett- und -bindegewebes zur Aufdeckung kommt.

Die Computertomographie erwies sich als überlegene Methode, die auch bei liegendem Gips angewandt werden kann und neben einer Differenzierung von Muskulatur und Binde- und Fettgewebe eine getrennte Beobachtung einzelner Muskeln erlaubt, was für eine Prophylaxe oder Therapie von Immobilisationsfolgen wichtig ist.

Plethysmographie und Hautfaltendickemessungen haben ihren Wert vor allem in einer Aufdeckung pathologischer Beeinträchtigungen des arteriellen und venösen Gefäßsystems durch die Ruhigstellung.

6. Anhang

Rohdaten der CT-Auswertung

Die Rubriken 1. bis 16. sind unter 2.3.2. und 2.3.3. bezeichnet.

1. bis 15. stellen Querschnittsflächen dar, die zugehörige Einheit sind cm^2 .

16. stellt die Hautfaltendicke dar, die Einheit ist cm.

- bedeutet, daß auf der Schnittebenen die betreffende Muskelgruppe nicht zur Darstellung kam.

} bedeutet, daß die zwei Flächen, die durch die Klammer zusammengefaßt sind, auf der entsprechenden CT-Aufnahme nicht voneinander abgegrenzt werden konnten und deshalb zusammengefaßt wurden.

Patient 1

Oberrand

	1.Aufnahme:1.Tag gesund / krank		2.Aufnahme:9.Tag gesund / krank		3.Aufnahme:42.Tag gesund / krank	
1.	218,87	200,77	180,90	181,82	201,63	157,83
2.	175,77	153,83	143,11	136,52	161,60	114,02
3.	9,44	10,04	8,22	8,64	8,27	9,01
4.	77,13	67,96	66,20	61,84	72,55	45,03
5.	4,64	3,43	3,62	3,72	4,11	3,67
6.	5,58	4,42	3,85	3,09	3,95	2,69
7.	36,92	35,16	29,48	26,09	37,79	26,18
8. }						
9.	28,41	23,42	23,69	19,15	25,82	15,75
10.	152,68	134,39	126,84	113,91	144,22	93,32
11.	166,33	143,79	134,89	127,88	153,33	105,01
12.	75,55	66,43	60,64	52,05	71,67	48,29
13.	43,10	46,94	37,79	45,30	40,03	43,81
14.	13,65	9,40	8,05	13,97	9,11	11,69
15.	56,75	56,34	45,84	59,27	49,14	55,50
16.	0,87	1,00	0,84	1,02	0,84	1,06

Mitte

1.	174,95	175,96	142,11	155,60	158,95	142,78
2.	142,71	140,59	115,80	119,54	130,93	104,48
3.	8,84	9,54	9,34	10,12	7,90	8,63
4.	63,16	61,02	55,13	52,05	61,83	41,60
5.	4,04	4,01	3,69	3,84	4,09	3,74
6.	3,00	3,38	2,71	2,95	2,66	2,51
7.	9,23	10,21	5,29	7,21	10,48	6,95
8. }						
9.	44,29	38,55	34,28	37,26	37,13	27,95
10.	123,72	117,17	101,10	103,31	116,19	82,75
11.	133,87	131,05	106,46	109,42	123,03	95,85
12.	60,56	56,15	45,97	51,29	54,36	41,15
13.	32,24	35,37	26,31	36,06	28,02	38,30
14.	10,15	13,88	5,36	6,11	6,84	13,10
15.	42,39	49,25	31,27	42,17	34,68	51,40
16.	0,72	0,79	0,65	0,87	0,66	0,97

Unterrand

1.	141,53	144,08	117,56	134,30	132,08	121,44
2.	110,98	110,24	89,61	101,31	102,74	87,36
3.	11,16	11,57	10,42	11,39	10,10	10,37
4.	53,89	48,76	41,49	45,09	48,30	34,31
5.	3,36	4,05	3,07	3,32	3,50	4,02
6.	1,90	2,45	1,56	1,59	1,98	1,73
7.	-	-	-	-	-	-
8.	16,47	20,08	13,89	16,61	15,12	13,64
9.	16,90	15,15	14,04	14,12	17,36	13,94
10.	92,52	90,49	74,05	80,73	86,26	67,64
11.	99,52	98,67	79,19	89,98	92,64	76,99
12.	38,63	41,73	32,56	35,64	37,96	33,33
13.	30,55	33,84	27,95	32,99	29,34	34,08
14.	7,30	8,18	5,14	9,19	6,38	9,35
15.	37,85	42,02	33,09	42,18	35,72	43,43
16.	0,77	0,85	0,78	0,86	0,77	0,94

Oberrand

	1.Aufnahme:3.Tag gesund / krank		2.Aufnahme:11.Tag gesund / krank		3.Aufnahme:39.Tag gesund / krank	
1.	201,73	190,30	177,13	161,51	211,56	167,91
2.	167,14	155,68	147,81	128,50	155,49	122,45
3.	9,47	8,46	7,23	8,13	7,66	9,32
4.	70,48	69,41	67,05	54,34	65,16	39,81
5.	3,74	2,34	2,20	1,65	2,83	2,17
6.	3,90	2,40	3,00	2,61	3,22	2,78
7.	43,19	42,11	35,88	35,64	44,69	41,99
8.	} 30,01	26,62	28,93	18,54	22,66	17,29
9.						
10.	151,68	142,88	137,06	112,78	138,56	104,04
11.	157,67	147,40	140,58	120,37	147,38	113,13
12.	80,84	73,47	70,01	58,44	73,40	64,23
13.	34,59	34,44	29,32	33,01	56,07	45,46
14.	5,99	4,52	3,52	7,59	9,27	9,09
15.	40,58	38,96	32,84	40,60	65,34	54,55
16.	0,72	0,74	0,65	0,77	1,17	1,07

Mitte

1.	153,26	160,61	139,91	144,28	180,10	151,05
2.	128,82	134,60	118,05	118,77	149,86	116,80
3.	7,45	7,89	7,97	8,62	7,69	8,04
4.	64,55	62,18	51,67	53,80	69,14	44,75
5.	2,52	2,61	2,36	2,32	3,04	2,36
6.	2,83	2,92	2,86	2,10	3,83	2,82
7.	11,81	13,44	12,62	13,24	29,54	24,20
8.	} 35,95	40,82	32,76	33,74	36,89	31,21
9.						
10.	117,66	121,97	102,27	105,20	142,44	105,34
11.	121,37	126,71	110,08	110,25	142,17	108,76
12.	53,11	59,79	50,60	51,40	73,30	60,59
13.	24,44	26,01	21,86	25,51	30,24	34,25
14.	3,71	4,74	7,81	5,05	-	3,42
15.	28,15	30,75	29,67	30,56	30,24	37,67
16.	0,58	0,60	0,54	0,63	0,68	0,84

Unterrand

1.	115,90	129,82	98,66	116,49	147,56	130,85
2.	97,43	106,07	81,57	94,54	121,09	102,43
3.	10,14	10,58	8,58	9,24	8,26	9,07
4.	47,22	49,70	37,21	46,50	58,15	38,58
5.	1,95	2,11	1,89	1,70	2,11	2,17
6.	1,72	1,62	1,38	1,29	2,89	2,10
7.	3,28	4,18	2,66	3,30	11,56	9,65
8.	16,85	19,19	14,94	17,22	15,94	14,62
9.	12,72	12,59	9,50	8,62	17,84	17,71
10.	83,74	89,39	67,48	78,53	108,47	84,83
11.	87,29	95,49	72,99	85,30	112,83	93,36
12.	36,52	39,69	30,72	32,03	50,34	46,25
13.	18,47	23,75	17,09	21,95	26,47	28,42
14.	3,55	6,10	5,51	6,77	4,36	8,53
15.	22,02	29,85	22,60	28,72	30,83	36,95
16.	0,50	0,62	0,51	0,60	0,65	0,74

Oberrand

1. Aufnahme: 3. Tag		2. Aufnahme: 21. Tag	
gesund / krank		gesund / krank	
1.	204,82	190,13	207,44
2.	159,63	147,53	160,46
3.	7,01	7,40	8,11
4.	76,53	72,15	78,50
5.	5,53	4,69	4,70
6.	5,53	4,87	6,00
7.	21,49	21,71	19,48
8. }	31,49	31,98	35,73
9.			28,96
10.	140,57	135,40	144,61
11.	152,62	140,13	152,35
12.	64,04	63,25	65,91
13.	45,19	42,60	46,98
14.	12,05	4,73	7,74
15.	57,24	47,33	54,72
16.	0,95	0,93	0,98

Mitte

1.	175,08	174,25	164,22	150,45
2.	138,66	137,81	130,28	114,07
3.	8,63	9,03	7,68	7,59
4.	67,70	69,92	69,83	53,11
5.	4,67	4,65	4,61	3,81
6.	4,31	4,09	3,67	3,32
7.	1,58	1,50	1,33	1,38
8. }	45,07	41,47	40,67	39,26
9.				
10.	123,33	121,63	120,11	100,88
11.	130,03	128,78	122,60	106,48
12.	55,63	51,71	50,28	47,77
13.	36,42	36,44	33,94	36,38
14.	6,70	7,15	2,49	5,60
15.	43,12	43,59	36,43	41,98
16.	0,82	0,82	0,79	0,89

Unterrand

1.	141,24	141,95	130,22	128,35
2.	114,47	112,15	100,99	97,47
3.	8,71	9,15	9,89	9,47
4.	54,93	58,87	46,68	44,30
5.	5,08	3,78	4,29	3,69
6.	2,40	1,62	2,18	1,58
7.	-	-	-	-
8.	15,03	15,18	13,31	13,19
9.	20,01	17,14	17,67	12,59
10.	97,45	96,59	84,13	75,35
11.	105,76	103,00	91,10	88,00
12.	42,52	37,72	37,45	31,05
13.	26,77	29,80	29,23	30,88
14.	8,31	6,41	6,97	12,65
15.	35,08	36,21	36,20	43,53
16.	0,67	0,75	0,77	0,82

Oberrand

1.Aufnahme: 1.Tag		2.Aufnahme: 43.Tag	
gesund / krank		gesund / krank	
1.	145,07	163,64	201,46
2.	83,98	95,99	113,73
3.	6,28	6,43	6,14
4.	42,33	49,13	53,53
5.	2,52	2,19	2,38
6.	2,07	2,17	2,32
7.	3,78	6,49	25,80
8. }	19,84	22,49	17,12
9.			15,01
10.	70,54	82,47	101,15
11.	77,70	89,56	107,59
12.	28,21	33,43	47,62
13.	61,09	67,65	87,73
14.	7,16	7,09	6,44
15.	68,25	74,74	94,17
16.	1,63	1,69	1,99

Unterrand

1.	117,24	138,68	168,41	157,43
2.	74,48	84,34	99,67	82,45
3.	9,28	8,39	6,79	7,15
4.	33,28	40,88	47,66	31,45
5.	2,09	1,81	2,13	2,26
6.	0,93	1,23	2,05	1,97
7.	-	-	7,85	3,46
8.	10,92	12,49	13,06	13,48
9.	6,59	8,06	13,97	10,96
10.	53,81	64,47	86,72	63,58
11.	65,20	75,95	92,88	75,30
12.	20,53	23,59	39,06	32,13
13.	41,76	54,34	68,74	74,98
14.	11,39	11,48	6,16	11,72
15.	54,15	65,82	74,90	86,70
16.	1,24	1,46	1,69	1,96

Oberrand

1.Aufnahme:3.Tag gesund / krank			2.Aufnahme:12.Tag gesund / krank		3.Aufnahme:40.Tag gesund / krank		
1.	154,81	148,52	135,09	124,84	176,21	148,41	
2.	129,66	119,90	113,10	98,64	145,47	106,89	
3.	7,02	11,62	6,39	10,74	7,43	7,83	
4.	56,42	45,06	51,39	41,81	67,76	38,54	
5.	3,13	3,33	2,90	3,09	3,11	3,22	
6.	3,66	4,32	3,42	3,41	3,57	3,70	
7.	28,97	29,45	13,44	11,95	44,86	27,72	
8.	}	27,39	19,68	28,52	23,70	17,47	16,65
9.							
10.	119,57	101,84	99,67	83,96	136,77	89,83	
11.	122,64	108,28	106,71	87,90	138,04	99,06	
12.	63,15	56,78	48,28	42,15	69,01	51,29	
13.	25,15	28,62	21,99	26,10	30,74	41,52	
14.	3,07	6,44	7,04	3,94	1,27	9,23	
15.	28,22	35,06	29,03	30,14	32,01	50,75	
16.	0,60	0,70	0,56	0,70	0,68	1,04	

Mitte

1.	124,96	119,56	104,69	106,97	144,62	116,71	
2.	100,16	98,46	86,41	81,97	122,48	88,99	
3.	7,31	9,02	8,05	8,51	4,41	10,06	
4.	45,43	46,40	41,03	36,48	60,32	37,50	
5.	2,55	3,13	2,49	2,65	2,55	2,79	
6.	2,43	2,09	2,04	2,29	3,39	2,76	
7.	5,79	2,65	3,23	3,47	16,44	7,80	
8.	}	29,70	30,97	26,08	25,22	26,49	24,22
9.							
10.	85,90	85,24	74,87	70,11	109,19	75,07	
11.	92,85	89,44	78,36	73,46	118,07	78,93	
12.	40,47	38,84	33,84	33,63	48,87	37,57	
13.	24,80	21,10	18,28	25,00	22,14	27,72	
14.	6,95	4,20	3,49	3,35	8,88	3,86	
15.	31,75	25,30	21,77	28,35	31,02	31,58	
16.	0,66	0,57	0,53	0,73	0,54	0,77	

Unterrand

1.	100,06	102,56	86,22	84,11	114,17	99,30
2.	81,55	82,01	68,30	62,74	95,17	73,87
3.	8,90	8,69	9,59	9,75	7,59	8,81
4.	38,63	41,32	32,87	27,30	44,95	28,81
5.	2,84	3,03	2,26	2,60	2,52	2,68
6.	1,54	1,60	0,58	0,74	2,47	2,27
7.	2,35	2,03	0,82	1,03	4,91	2,99
8.	13,51	12,12	9,70	8,08	13,34	11,00
9.	9,70	10,81	6,64	6,57	14,02	11,80
10.	68,57	70,91	52,87	46,32	82,21	59,55
11.	72,65	73,32	58,71	52,99	87,58	65,06
12.	29,94	29,59	20,00	19,02	37,26	30,74
13.	18,51	20,55	17,92	21,37	19,00	25,43
14.	4,08	2,41	5,84	6,67	5,37	5,51
15.	22,59	22,96	23,76	28,04	24,37	30,94
16.	0,55	0,60	0,58	0,71	0,52	0,77

Patient 6

Oberrand

	1.Aufnahme:1.Tag gesund / krank		2.Aufnahme:12.Tag gesund / krank		3.Aufnahme:39.Tag gesund / krank	
1.	185,25	180,00	192,36	174,88	202,97	166,68
2.	137,75	127,40	144,73	122,07	151,70	115,14
3.	7,44	7,36	7,17	6,86	7,50	7,42
4.	59,87	52,47	65,19	48,70	64,84	42,76
5.	4,01	4,24	4,54	4,20	4,40	4,04
6.	4,41	3,37	5,07	4,16	5,62	3,93
7.	24,00	25,53	32,51	29,92	36,98	29,08
8. }	33,07	29,80	27,21	20,73	28,05	21,57
9.						
10.	125,36	115,41	134,52	107,71	139,89	101,38
11.	130,31	120,41	137,56	115,21	144,20	107,72
12.	65,49	62,94	69,33	59,01	75,05	58,62
13.	47,50	52,60	47,63	52,81	51,27	51,54
14.	4,95	4,63	3,04	7,50	4,31	6,34
15.	52,45	57,23	50,67	60,31	55,58	57,88
16.	1,06	1,20	1,04	1,23	1,09	1,23

Mitte

1.	143,34	138,95	157,27	163,24	161,69	142,55
2.	103,95	92,41	118,31	111,36	122,89	92,27
3.	8,24	8,24	8,40	8,43	7,55	8,03
4.	51,87	40,94	55,63	49,14	62,50	38,15
5.	3,91	3,46	4,05	3,90	3,67	3,08
6.	2,38	2,37	3,33	3,06	3,51	3,10
7.	5,79	6,19	11,86	11,04	13,38	6,48
8.	13,74	11,35	15,36	13,45	14,76	13,30
9.	11,77	11,56	12,86	14,24	12,47	12,12
10.	89,47	75,87	103,09	94,83	110,29	76,23
11.	95,71	84,17	109,91	102,93	115,34	84,24
12.	37,60	34,93	47,46	45,69	47,79	38,08
13.	39,39	46,54	38,96	51,88	38,80	50,28
14.	6,24	8,30	6,82	8,10	5,05	8,01
15.	45,63	54,84	45,78	59,98	43,85	58,29
16.	1,00	1,23	0,95	1,25	0,92	1,32

Unterrand

1.	116,98	112,82	119,40	119,95	127,33	116,52
2.	82,40	81,82	87,73	84,32	95,37	72,58
3.	11,62	11,02	8,74	9,50	9,35	9,63
4.	37,52	34,00	43,75	41,95	48,08	30,71
5.	3,68	3,94	3,56	2,94	3,62	3,15
6.	1,16	1,36	1,58	1,59	1,55	1,65
7.	2,30	3,33	5,29	2,09	5,12	1,63
8.	12,57	13,02	9,40	9,51	12,01	10,93
9.	7,83	7,46	9,02	8,56	10,98	8,48
10.	65,06	63,11	72,60	66,64	81,36	56,55
11.	70,78	70,80	78,99	74,82	86,02	62,95
12.	27,54	29,11	28,85	24,69	33,28	25,84
13.	34,58	31,00	31,67	35,63	31,96	43,94
14.	5,72	7,69	6,39	8,18	4,66	6,40
15.	40,30	38,69	38,06	43,81	36,62	50,34
16.	0,98	0,89	0,88	1,00	0,86	1,28

Oberrand

1.Aufnahme:2.Tag		2.Aufnahme:25.Tag	
gesund / krank		gesund / krank	
1.	176,49	171,74	184,06
2.	93,45	81,26	97,30
3.	5,01	5,26	5,61
4.	41,62	34,43	44,06
5.	2,93	2,91	3,09
6.	3,15	3,03	3,57
7.	12,59	12,68	11,84
8. }	21,12	17,23	22,96
9. }			22,36
10.	81,41	70,28	85,52
11.	88,44	76,00	91,69
12.	39,79	35,85	41,45
13.	83,04	90,48	86,76
14.	7,03	5,72	6,17
15.	90,07	96,20	92,93
16.	2,04	2,31	2,09

Mitte

1.	156,30	155,41	159,01	153,00
2.	83,90	78,28	85,77	73,85
3.	5,63	6,20	5,95	6,10
4.	38,52	30,72	41,12	27,82
5.	2,60	2,72	2,51	2,82
6.	2,84	2,62	2,29	2,40
7.	5,97	7,25	4,98	3,74
8. }	23,93	23,14	23,89	25,07
9. }				
10.	73,86	66,45	74,79	61,85
11.	78,27	72,08	79,82	67,75
12.	35,34	35,73	33,67	34,03
13.	72,40	77,13	73,24	79,15
14.	4,41	5,63	5,03	5,90
15.	76,81	82,76	78,27	85,05
16.	1,89	2,04	1,89	2,13

Unterrand

1.	128,88	123,60	145,34	131,99
2.	68,16	63,40	75,25	66,39
3.	5,95	5,92	7,10	7,28
4.	32,51	25,21	34,77	23,00
5.	2,66	2,10	2,52	3,15
6.	1,61	1,62	1,84	1,85
7.	3,06	2,53	3,46	2,69
8.	10,51	10,41	10,93	11,65
9.	7,37	9,65	8,72	10,42
10.	57,72	51,52	62,24	52,58
11.	62,21	57,48	68,15	59,11
12.	25,21	26,31	27,47	29,58
13.	60,72	60,20	70,09	65,60
14.	4,49	5,96	5,91	6,53
15.	65,21	66,16	76,00	72,13
16.	1,75	1,78	1,91	1,88

Oberrand

	1. Aufnahme: 1. Tag gesund / krank		2. Aufnahme: 13. Tag gesund / krank		3. Aufnahme: 43. Tag gesund / krank	
1.	194,46	185,43	185,64	173,05	200,71	169,53
2.	94,85	92,71	94,06	77,95	95,56	69,68
3.	5,79	5,66	5,98	6,23	6,20	5,69
4.	46,05	43,85	43,65	33,93	45,39	28,22
5.	1,92	2,00	1,60	1,75	1,63	1,93
6.	2,31	2,48	2,17	2,18	2,19	2,21
7.	14,30	17,04	16,08	13,77	19,89	17,52
8. } 9. }	19,50	19,80	19,47	15,45	15,79	12,49
10.	84,08	85,17	82,97	67,08	84,89	62,37
11.	89,06	87,05	88,08	71,72	89,39	63,99
12.	38,03	41,32	39,32	33,15	39,50	34,15
13.	99,61	92,72	91,58	95,10	105,15	99,85
14.	4,98	1,88	5,11	4,64	4,50	1,63
15.	104,59	94,60	96,69	99,74	109,65	101,47
16.	2,37	2,25	2,22	2,44	2,48	2,64

Mitte

1.	158,12	159,26	142,10	141,98	163,68	142,30
2.	81,12	85,52	72,62	68,39	87,63	66,91
3.	6,99	7,58	6,97	6,43	6,21	6,27
4.	32,98	36,97	31,69	32,47	40,45	26,38
5.	1,73	2,12	1,71	1,52	1,81	1,80
6.	1,99	2,30	1,83	2,13	2,06	2,43
7.	5,08	4,68	3,72	3,73	9,03	7,03
8. } 9. }	27,47	27,00	22,30	22,05	24,48	20,42
10.	69,25	73,08	61,25	61,90	77,83	58,05
11.	74,26	77,94	65,65	61,96	81,42	60,64
12.	36,27	36,11	29,56	29,43	37,38	31,68
13.	77,00	73,74	69,48	73,59	76,05	75,39
14.	5,01	4,86	4,40	0,06	3,59	2,58
15.	82,01	78,60	73,88	73,65	79,64	77,97
16.	2,01	1,90	1,92	2,06	1,94	2,12

Unterrand

1.	125,42	127,57	116,37	117,05	130,66	120,06
2.	60,32	68,22	59,53	57,99	71,53	57,28
3.	8,39	8,20	9,05	8,65	6,85	7,20
4.	21,09	29,14	21,35	24,90	30,47	20,87
5.	1,14	1,89	1,53	1,81	1,36	1,74
6.	1,24	1,58	1,52	1,48	1,63	1,79
7.	2,30	1,31	0,65	1,33	3,18	2,17
8.	12,12	13,21	11,80	11,04	13,00	11,34
9.	7,02	6,28	6,23	6,03	10,35	6,83
10.	44,91	53,41	43,08	46,59	59,99	44,74
11.	51,93	60,02	50,48	49,34	64,47	50,08
12.	23,82	24,72	21,73	21,69	29,52	23,87
13.	65,10	59,35	56,84	59,06	59,13	62,78
14.	7,02	6,61	7,40	2,75	4,68	5,34
15.	72,12	65,96	64,24	61,81	63,81	68,12
16.	1,94	1,71	1,73	1,81	1,68	1,92

Oberrand

	1.Aufnahme:1.Tag		2.Aufnahme:8.Tag		3.Aufnahme:43.Tag	
	gesund / krank		gesund / krank		gesund / krank	
1.	112,51	119,17	104,66	114,01	136,24	123,32
2.	78,81	87,79	73,83	79,16	97,12	80,15
3.	5,72	6,52	6,21	6,54	5,77	6,14
4.	40,40	42,40	34,94	36,86	48,07	30,00
5.	2,14	2,84	2,51	2,63	2,48	2,98
6.	1,95	2,20	1,56	1,74	2,80	2,81
7.	0,73	1,31	0,66	1,00	4,05	5,28
8.	10,43	12,75	10,20	11,26	14,05	12,82
9.	10,84	13,04	10,83	11,72	12,80	11,96
10.	66,49	74,54	60,70	65,21	84,25	65,85
11.	73,09	81,27	67,62	72,62	91,35	74,01
12.	26,09	32,14	25,76	28,35	36,16	35,85
13.	33,70	31,38	30,83	34,85	39,12	43,17
14.	6,60	6,73	6,92	7,41	7,10	8,16
15.	40,30	38,11	37,75	42,26	46,22	51,33
16.	0,98	0,87	0,92	1,00	1,03	1,21

Mitte

1.	88,81	100,35	81,28	91,18	109,93	103,89
2.	60,45	72,11	54,35	62,47	75,96	67,05
3.	7,50	7,32	7,72	6,77	6,83	6,65
4.	28,83	34,15	23,49	31,39	34,14	23,85
5.	2,12	2,93	2,04	2,60	2,95	2,75
6.	0,80	0,95	0,76	0,82	1,57	1,29
7.	0,56	0,79	0,56	0,51	1,04	0,73
8.	9,82	10,72	8,27	9,02	11,69	11,97
9.	7,24	8,63	5,70	7,98	10,93	10,82
10.	49,37	58,17	40,82	52,32	62,32	51,41
11.	52,95	64,79	46,63	55,70	69,13	60,40
12.	20,54	24,02	17,33	20,93	28,18	27,56
13.	28,36	28,24	26,93	28,71	33,97	36,84
14.	3,56	6,62	5,82	3,38	6,81	8,99
15.	31,92	34,86	32,74	32,09	40,78	45,83
16.	0,93	0,86	0,93	0,93	1,00	1,13

Unterrand

1.	71,10	89,68	73,96	82,56	84,09	83,34
2.	49,57	66,35	52,54	59,03	57,50	56,83
3.	12,66	9,78	14,08	9,59	8,94	8,04
4.	10,38	25,76	11,17	20,62	16,56	16,47
5.	1,54	1,97	1,28	1,76	2,10	2,64
6.	-	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-	-
8.	4,41	5,29	3,74	5,37	7,76	9,00
9.	2,84	3,10	2,70	4,16	5,06	5,85
10.	19,17	36,12	18,89	31,91	31,48	33,96
11.	36,91	56,57	38,46	49,44	48,56	48,79
12.	8,79	10,36	7,72	11,29	14,92	17,49
13.	21,53	23,33	21,42	23,53	26,59	26,51
14.	17,74	20,45	19,57	17,53	17,08	14,83
15.	39,27	43,78	40,99	41,06	43,67	41,34
16.	0,79	0,75	0,76	0,79	0,90	0,90

Oberrand

	1.Aufnahme:2.Tag gesund / krank		2.Aufnahme:8.Tag gesund / krank	
1.	222,20	208,46	218,65	206,18
2.	191,97	179,24	191,55	169,90
3.	8,29	7,89	8,23	8,54
4.	80,51	77,47	79,64	63,57
5.	4,61	5,03	4,80	4,81
6.	5,03	5,21	5,35	6,70
7.	42,25	42,66	56,58	50,70
8. }	40,09	37,47	30,65	28,65
9.				
10.	172,48	167,84	177,02	154,43
11.	183,68	171,51	183,32	161,36
12.	91,97	90,37	97,38	90,86
13.	30,23	29,22	27,10	36,28
14.	11,20	3,67	6,30	6,93
15.	41,43	32,89	33,40	43,21
16.	0,59	0,59	0,53	0,75

Mitte

1.	177,45	168,94	202,97	191,56
2.	156,54	146,51	180,91	167,20
3.	7,43	7,91	8,69	9,11
4.	78,23	67,03	79,81	67,43
5.	5,09	4,30	5,14	4,79
6.	4,21	5,06	5,90	5,15
7.	13,73	12,79	34,38	34,03
8. }	44,78	42,87	40,55	39,99
9.				
10.	146,04	132,05	165,78	151,39
11.	149,11	138,60	172,22	158,09
12.	67,81	65,02	85,97	83,96
13.	20,91	22,43	22,06	24,36
14.	3,07	6,55	6,44	6,70
15.	23,98	28,98	28,50	31,06
16.	0,46	0,50	0,45	0,51

Unterrand

1.	141,76	142,24	160,71	147,83
2.	122,31	120,83	141,31	128,18
3.	9,60	9,65	8,62	8,64
4.	61,26	54,90	69,67	58,65
5.	3,81	3,99	4,29	3,91
6.	2,88	3,54	3,87	4,54
7.	4,27	3,35	10,08	8,38
8.	17,32	19,07	20,36	19,84
9.	18,35	19,38	19,66	14,87
10.	107,89	104,23	127,93	110,19
11.	112,71	111,18	132,69	119,54
12.	46,63	49,33	58,26	51,54
13.	19,45	21,41	19,40	19,65
14.	4,82	6,95	4,76	9,35
15.	24,27	28,36	24,16	29,00
16.	0,48	0,53	0,45	0,47

Patient 11

Oberrand

1.Aufnahme:2.Tag gesund / krank		2.Aufnahme:8.Tag gesund / krank		3.Aufnahme:43.Tag gesund / krank			
1.	231,55	235,09	222,73	211,36	238,91	208,30	
2.	180,63	175,81	177,46	154,45	184,44	144,49	
3.	9,62	10,31	9,31	8,52	9,12	9,50	
4.	83,16	84,28	70,58	65,86	76,24	51,03	
5.	4,58	4,32	5,03	4,37	4,97	4,47	
6.	6,06	5,45	5,58	4,43	5,99	4,99	
7.	37,19	32,75	45,38	36,94	50,32	41,28	
8.	}	32,26	30,51	29,57	21,92	29,77	24,35
9.							
10.	163,25	157,31	156,14	133,52	167,29	126,12	
11.	171,01	165,50	168,15	145,93	175,32	134,99	
12.	60,09	73,03	85,56	67,66	91,05	75,09	
13.	50,92	59,28	45,27	56,91	54,47	63,81	
14.	7,76	8,19	12,01	12,41	8,03	8,87	
15.	58,68	67,47	57,28	69,32	62,50	72,68	
16.	1,00	1,17	0,90	1,19	1,06	1,36	

Mitte

1.	179,74	195,77	219,23	215,56	222,23	196,32	
2.	139,36	151,71	173,45	165,81	177,85	140,75	
3.	9,36	8,35	10,17	10,61	10,11	9,66	
4.	61,36	74,78	71,52	68,70	76,94	49,66	
5.	4,20	3,05	5,55	4,14	4,95	4,27	
6.	4,76	4,82	7,09	4,48	6,26	5,91	
7.	17,15	16,37	26,70	27,48	26,86	19,60	
8.	}	37,29	35,88	45,38	40,13	44,01	36,84
9.							
10.	124,76	134,90	156,24	144,93	159,02	116,28	
11.	130,00	143,36	163,28	155,20	167,74	131,09	
12.	63,40	60,12	84,72	76,23	82,08	66,62	
13.	40,38	44,06	45,78	49,75	44,38	55,57	
14.	5,24	8,46	7,04	10,27	8,72	14,81	
15.	45,62	52,52	52,82	60,02	53,10	70,38	
16.	0,90	0,94	0,92	1,02	0,89	1,21	

Unterrand

1.	156,02	174,97	178,98	195,56	196,43	181,14
2.	116,17	133,84	138,84	144,14	151,29	125,89
3.	10,18	9,90	9,90	9,87	10,84	11,08
4.	53,84	63,25	60,72	64,00	64,78	42,60
5.	4,02	2,47	4,69	3,46	4,59	4,13
6.	3,15	3,65	4,09	4,32	4,56	4,30
7.	8,97	9,32	12,36	15,06	15,25	14,61
8.	15,81	20,49	19,69	21,34	19,71	18,71
9.	16,21	16,51	20,10	19,78	20,53	20,96
10.	102,00	115,69	121,65	127,96	129,42	105,31
11.	105,99	123,94	128,36	134,27	140,45	114,79
12.	48,16	52,44	60,93	63,96	64,64	62,17
13.	39,85	41,13	40,72	51,42	45,14	55,25
14.	3,99	8,25	6,71	6,31	11,03	9,48
15.	43,84	49,38	47,43	57,73	56,17	64,73
16.	0,97	0,94	0,91	1,12	0,97	1,26

Meßergebnisse der Umfangsmessungen

Einheit: cm

O 10 : Umfang 10 cm proximal der Patellaoberkante

O 20 : Umfang 20 cm proximal der Patellaoberkante

U 22 : Umfang 22 cm distal der Patellaoberkante

Kg : Umfang des Kniegelenks

	O 10		O 20		U 22		Kg	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Gruppe A								
Pat. 1	38,0	39,0	46,5	49,0	31,0	32,0	36,0	35,5
Pat. 2	45,0	44,5	54,0	54,0	33,0	34,0	-	-
Pat. 3	41,0	42,0	50,0	50,0	32,5	34,0	34,0	34,5
Pat. 4	46,5	46,0	54,5	55,5	37,5	36,0	40,5	40,5

Gruppe B

Pat. 1	37,0	39,0	43,5	48,0	30,0	32,0	37,0	36,0
Pat. 2	43,5	46,5	49,5	55,0	36,0	37,5	40,0	39,5
Pat. 3	43,5	43,0	50,0	52,0	33,5	33,5	39,5	37,0
Pat. 4	45,0	45,5	53,0	53,0	35,0	35,5	38,5	38,5
Pat. 5	39,0	42,5	48,5	52,0	31,5	32,5	35,0	34,5
Pat. 6	39,5	42,0	47,0	50,5	37,0	38,0	-	-
Pat. 7	42,0	47,0	49,0	52,5	33,5	34,0	39,5	38,5
Pat. 8	41,5	44,0	47,0	52,0	36,2	35,7	-	-
Pat. 9	43,5	44,0	50,5	53,5	31,5	32,0	38,0	38,0
Pat. 10	46,0	47,0	53,5	57,5	41,0	41,0	46,0	44,0
Pat. 11	45,0	47,0	53,5	55,0	37,5	39,0	43,0	42,0

Gruppe C

Pat. 1	37,0	39,5	43,5	48,0	30,5	32,0	37,0	35,5
Pat. 2	44,5	46,5	50,0	54,0	37,0	37,5	41,5	40,0
Pat. 3	42,0	45,0	49,0	55,0	33,0	34,0	38,5	37,0
Pat. 4	41,5	44,5	47,0	52,0	35,0	35,5	40,5	38,5
Pat. 5	44,5	44,5	52,0	52,5	32,0	32,5	38,5	37,5
Pat. 6	47,0	47,0	53,5	56,0	42,0	42,0	47,0	43,0
Pat. 7	45,5	46,5	54,5	56,0	38,0	40,5	43,5	43,0

Gruppe D

Pat. 1	37,0	39,5	43,0	46,0	31,0	31,0	35,0	34,0
Pat. 2	44,0	45,5	52,0	53,5	37,0	37,0	38,5	38,5
Pat. 3	41,0	43,0	48,0	51,5	38,0	38,0	38,5	37,5
Pat. 4	43,0	44,0	51,0	52,5	39,0	38,5	38,5	38,0
Pat. 5	46,0	47,5	52,0	56,0	38,5	38,0	42,0	40,0
Pat. 6	45,0	45,5	53,5	54,0	32,5	32,0	38,0	38,0

Meßergebnisse der Hautfaltendickemessungen

O Meßstelle an der ventralen Oberschenkelseite
 Ul Meßstelle an der lateralen Unterschenkelseite
 Um Meßstelle an der medialen Unterschenkelseite
 Einheit: mm

	O		Ul		Um	
	k / g		k / g		k / g	
Gruppe A						
Pat.1.	12,5	9,8	10,6	9,4	11,5	6,8
Pat.2	13,4	12,6	10,4	7,9	9,0	8,6
Pat.3	12,2	12,2	9,2	8,9	10,5	8,7
Pat.4	20,8	22,6	12,2	13,4	-	-

Gruppe B

Pat.1	14,0	9,6	9,2	9,7	13,4	7,2
Pat.2	17,5	12,8	10,4	8,2	8,0	6,6
Pat.3	13,0	10,8	11,8	6,6	11,1	6,6
Pat.4	-	-	-	-	-	-
Pat.5	13,8	12,5	9,6	9,8	11,7	8,1
Pat.6	10,2	8,4	10,2	7,4	6,6	6,2
Pat.7	17,1	17,3	15,4	17,0	-	-
Pat.8	13,7	9,8	12,0	8,2	12,2	6,6
Pat.9	-	-	13,8	9,8	-	-
Pat.10	21,0	12,7	11,0	8,8	10,2	5,6
Pat.11	12,0	9,2	5,2	5,0	6,2	5,0

Gruppe C

Pat.1	11,6	8,3	8,0	8,0	10,6	6,6
Pat.2	14,2	12,2	13,0	9,0	9,8	8,6
Pat.3	15,2	17,2	13,8	15,2	-	-
Pat.4	11,4	10,9	11,8	9,6	11,6	8,6
Pat.5	-	-	-	-	-	-
Pat.6	18,5	13,5	12,2	8,2	9,3	6,0
Pat.7	10,4	9,4	5,6	5,4	6,4	4,3

Gruppe D

Pat.1	9,4	9,6	8,0	5,4	7,0	6,1
Pat.2	-	-	-	-	-	-
Pat.3	11,0	11,0	8,5	6,8	4,8	5,0
Pat.4	9,2	10,4	8,2	7,5	6,0	5,8
Pat.5	12,8	12,4	10,7	8,2	11,8	9,3
Pat.6	-	-	-	-	-	-

Plethysmographische Meßergebnisse

Die Kriterien der Gruppeneinteilung A bis D sind unter 3.3. aufgeführt.

Rdb ₁₋₃	 Einzelmeßergebnisse der Ruhedurchblutungsmessungen
$\overline{\text{Rdb}}$	 Mittelwert der Ruhedurchblutung
RH _s	 Wert der reaktiven Hyperämie sofort nach Beendigung der Ischämie
RH _{15''}	 Wert der reaktiven Hyperämie, 15 Sekunden nach Ablauf der Ischämiezeit
RH _{30''}	 Wert der reaktiven Hyperämie, 30 Sekunden nach Ablauf der Ischämiezeit
RH _{1'}	 Wert der reaktiven Hyperämie, 1 Minute nach Ablauf der Ischämiezeit
Vk _{1'-4'}	 Wert der Venenkapazität, 1 bis 4 Minuten nach Beginn des Staus
VA	 Wert des venösen Ausstroms
Hwz _{VA}	 Halbwertszeit des venösen Ausstroms

$\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe} \cdot \text{Minute}}$ stellt die Einheit für die Werte der Ruhedurchblutung, der reaktiven Hyperämie und des venösen Ausstroms dar,

$\frac{\text{ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe}}$ ist die Einheit für die Venenkapazität, Sekunden ist die Einheit der Halbwertszeit des venösen Ausstroms.

k steht für krank, d.h. immobilisiertes Bein

g steht für gesund, d.h. nicht immobilisiertes Bein

Patient	1		2		3		4	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	4,00	2,64	2,73	3,18	0,73	1,91	1,45	0,91
Rdb ₂	3,45	2,36	3,09	3,45	0,82	1,27	1,18	0,91
Rdb ₃	3,73	2,64	3,09	2,73	0,64	1,36	1,36	0,91
<u>Rdb</u>	3,73	2,55	2,97	3,12	0,73	1,51	1,33	0,91
RH _s	19,54	15,64	25,45	25,82	12,45	6,18	11,00	7,00
RH _{15''}	18,36	16,82	12,81	19,45	16,36	11,55	26,82	17,45
RH _{30''}	10,64	8,91	7,55	9,55	3,18	1,55	10,91	6,00
RH _{1'}	5,91	4,00	3,00	4,09	2,00	1,00	1,91	1,36
VK _{1'}	2,82	2,42	2,23	2,53	0,76	0,48	0,86	0,73
VK _{2'}	3,56	3,39	3,53	3,73	1,65	1,45	1,79	1,53
VK _{3'}	3,74	4,06	3,92	4,17	2,23	2,06	2,38	1,98
VK _{4'}	3,77	4,17	4,17	4,32	2,52	2,39	2,62	2,08
VA	48,00	53,82	67,64	61,45	24,45	22,91	47,10	39,82
Hwz _{VA}	2,70	2,85	2,10	2,40	3,85	4,70	2,75	2,30

Gruppe B (n=11)

Patient	1		2		3		4	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	1,73	1,45	2,09	2,55	2,55	1,91	1,82	1,55
Rdb ₂	1,64	1,54	1,73	2,55	3,00	1,55	1,64	1,55
Rdb ₃	1,82	1,64	2,73	3,64	3,45	1,64	1,73	1,55
<u>Rdb</u>	1,73	1,54	2,19	2,91	3,00	1,70	1,73	1,55
RH _s	13,00	9,54	13,00	9,09	30,18	23,55	13,09	12,73
RH _{15''}	16,73	17,64	8,73	14,45	26,36	19,64	2,36	2,45
RH _{30''}	4,73	5,00	5,45	9,18	10,00	5,36	0,91	1,00
RH _{1'}	2,00	2,36	2,82	4,91	5,45	2,73	0,73	0,73
Vk _{1'}	1,54	1,18	1,67	1,68	2,29	1,41	0,68	0,79
Vk _{2'}	2,17	2,18	2,55	2,44	3,27	2,30	1,12	1,24
Vk _{3'}	2,61	3,07	2,97	2,98	3,42	3,20	1,64	1,74
Vk _{4'}	2,76	3,79	3,30	3,29	3,71	3,82	2,03	2,11
VA	36,36	41,45	27,73	40,36	42,55	46,18	21,82	23,36
Hwz _{VA}	2,45	3,20	4,30	2,70	3,80	2,90	3,40	3,30

Gruppe B, Fortsetzung

Patient	5		6		7		8	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	0,55	0,55	1,73	3,09	1,09	1,09	4,18	3,45
Rdb ₂	0,64	0,73	2,09	3,36	1,27	1,27	4,09	3,27
Rdb ₃	0,73	0,64	1,91	2,64	1,18	0,91	4,36	3,00
<u>Rdb</u>	0,64	0,64	1,91	3,03	1,18	1,09	4,21	3,24
RH _s	13,09	19,09	-	-	9,73	8,91	17,45	17,09
RH _{15''}	3,73	4,36	-	-	7,18	12,55	10,91	18,73
RH _{30''}	0,82	0,73	4,72	18,00	2,36	2,27	5,82	6,36
RH _{1'}	0,36	0,45	2,18	10,18	3,00	2,00	4,18	3,82
Vk _{1'}	0,65	0,50	1,14	2,52	0,83	0,50	1,56	1,76
Vk _{2'}	1,05	0,95	1,30	3,06	1,58	1,15	1,79	2,39
Vk _{3'}	1,41	1,29	1,39	3,27	1,91	1,80	2,00	2,67
Vk _{4'}	1,68	1,74	1,55	3,52	2,06	2,17	2,15	2,86
VA	22,18	26,55	21,27	33,45	23,18	23,09	25,27	36,91
Hwz _{VA}	3,00	2,60	2,40	4,10	3,45	3,85	3,20	2,25

Patient	9		10		11	
	k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	1,82	1,55	0,91	1,18	1,36	1,91
Rdb ₂	2,18	1,55	1,00	1,09	1,45	2,00
Rdb ₃	1,82	1,82	1,18	1,00	1,64	2,36
<u>Rdb</u>	1,94	1,64	1,03	1,09	1,48	2,09
RH _s	10,64	11,27	10,36	20,00	11,82	22,45
RH _{15''}	9,09	7,64	3,36	10,45	6,27	12,91
RH _{30''}	3,64	2,73	1,27	3,27	2,82	5,00
RH _{1'}	1,64	1,36	0,73	1,27	1,64	2,00
Vk _{1'}	1,29	1,03	0,53	0,91	1,03	1,12
Vk _{2'}	1,92	2,29	0,71	1,48	1,32	1,74
Vk _{3'}	2,42	2,62	0,83	1,88	1,48	2,36
Vk _{4'}	2,61	2,85	0,88	2,26	1,65	2,82
VA	22,00	32,75	11,09	22,36	16,09	27,64
Hwz _v	5,40	3,36	2,90	3,80	3,10	3,20

Gruppe C (n=7)

Patient	1		2		3		4	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	2,18	1,45	1,82	2,82	1,81	1,36	2,18	1,73
Rdb ₂	2,18	1,09	2,00	3,18	1,45	1,64	2,27	1,73
Rdb ₃	2,09	0,82	2,27	3,45	0,82	2,00	1,91	1,55
<u>Rdb</u>	2,15	1,12	2,03	3,15	1,36	1,67	2,12	1,67
RH _s	12,18	8,36	8,55	7,73	8,09	13,00	9,64	12,18
RH _{15''}	9,09	3,27	6,82	11,36	11,80	8,09	2,91	3,09
RH _{30''}	4,18	2,36	4,00	10,82	4,27	3,18	2,45	1,91
RH _{1'}	2,27	1,64	2,36	5,18	1,82	1,73	2,00	1,55
Vk _{1'}	1,57	0,91	1,27	2,76	0,70	1,15	1,15	1,24
Vk _{2'}	2,07	1,73	1,68	3,59	1,32	1,71	1,48	1,76
Vk _{3'}	2,45	2,47	1,85	4,33	1,74	2,03	1,70	2,24
Vk _{4'}	2,54	2,97	2,00	4,64	1,97	2,17	1,79	2,56
VA	36,73	39,64	32,18	43,64	26,36	23,18	23,64	33,64
Hwz _{VA}	2,40	2,70	2,70	4,45	3,60	3,20	2,80	2,80

Patient	5		6		7	
	k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	2,27	1,36	1,36	1,91	2,36	4,09
Rdb ₂	2,92	1,64	1,45	2,00	2,18	3,36
Rdb ₃	2,27	2,00	1,64	2,36	2,18	3,09
<u>Rdb</u>	2,48	1,66	1,48	2,09	2,24	3,51
RH _s	8,82	9,45	11,82	22,45	12,36	14,73
RH _{15''}	12,09	13,27	6,27	12,91	6,45	14,45
RH _{30''}	4,18	3,45	2,82	5,00	4,00	9,55
RH _{1'}	3,64	3,36	1,64	2,00	3,36	8,36
Vk _{1'}	1,21	1,08	1,03	1,12	1,00	1,91
Vk _{2'}	1,80	1,85	1,32	1,74	1,45	2,71
Vk _{3'}	2,02	2,26	1,48	2,36	1,55	2,82
Vk _{4'}	2,21	2,52	1,56	2,82	1,67	3,00
VA	20,18	28,00	16,09	27,64	16,72	29,64
Hwz _{VA}	4,05	2,70	3,10	3,20	3,95	4,10

Gruppe D (n=6)

Patient	1		2		3		4	
	k / g		k / g		k / g		k / g	
Rdb ₁	3,82	2,91	2,00	2,36	3,73	2,36	2,55	2,27
Rdb ₂	3,45	2,64	1,91	2,36	3,82	2,27	3,00	2,09
Rdb ₃	3,82	2,27	2,61	2,91	3,82	1,82	2,91	2,27
<u>Rdb</u>	3,70	2,61	2,18	2,54	3,79	2,15	2,82	2,21
RH _s	11,27	11,27	11,82	14,91	8,09	9,00	17,09	10,91
RH _{15''}	18,00	21,27	2,36	5,82	12,64	12,91	9,09	13,45
RH _{30''}	9,45	5,91	0,73	1,64	5,09	4,27	5,83	5,36
RH _{1'}	6,00	3,36	0,64	1,27	3,09	2,18	3,36	2,55
Vk _{1'}	2,45	1,48	0,73	1,05	2,11	1,27	1,64	1,48
Vk _{2'}	3,45	2,61	1,26	1,72	2,89	2,14	2,09	2,15
Vk _{3'}	3,70	3,09	1,59	2,12	3,50	2,76	2,18	2,73
Vk _{4'}	3,92	3,36	1,74	2,30	3,59	3,24	2,24	3,26
VA	40,73	47,64	30,91	37,82	42,18	38,00	32,18	43,64
Hwz _{VA}	4,90	3,50	1,90	2,60	3,70	3,25	2,75	2,80

Patient	5		6	
	k / g		k / g	
Rdb ₁	2,36	1,82	2,00	0,82
Rdb ₂	2,18	1,73	2,55	1,00
Rdb ₃	2,00	1,00	2,55	0,73
<u>Rdb</u>	2,18	1,52	2,37	0,85
RH _s	12,73	11,64	15,09	20,45
RH _{15''}	7,00	5,55	7,09	8,18
RH _{30''}	3,82	3,36	-	-
RH _{1'}	2,18	2,00	-	-
Vk _{1'}	0,88	1,36	1,26	1,06
Vk _{2'}	1,36	1,65	1,65	1,67
Vk _{3'}	1,74	1,82	1,94	2,12
Vk _{4'}	1,89	1,97	2,06	2,48
VA	26,18	28,73	22,55	32,73
Hwz _{VA}	3,85	3,20	5,30	3,10

Meßergebnisse der Hauttemperaturmessungen

PMeßpunkt über der Patella

010Meßpunkt 10 cm proximal der Patellaoberkante, ventrale Oberschenkelseite

020 dto., 20 cm proximal der Patellaoberkante

TmMeßpunkt über dem mittleren Drittel der Tibiakante

TuMeßpunkt über dem distalen Drittel der Tibiakante

VMeßpunkt über dem Vorfuß

Einheit: °C

	P		010.		020		Tm		Tu		V	
	k	/ g	k	/ g	k	/ g	k	/ g	k	/ g	k	/ g
Gruppe A												
Patient												
1.	31,3	30,4	32,5	33,0	32,2	32,2	33,7	33,4	33,4	33,1	26,4	26,2
2.	31,0	30,8	31,9	32,0	32,5	32,3	33,3	33,9	31,2	33,1	26,7	26,1
3.	30,4	30,3	32,9	32,8	32,3	33,3	32,4	32,0	31,3	31,5	28,7	29,1
4.	29,7	31,3	30,4	31,3	32,0	32,4	32,1	32,4	31,4	31,4	30,3	30,9

Gruppe B

Patient

1.	29,9	27,4	30,0	30,0	30,3	30,6	29,5	28,9	30,0	28,4	27,5	26,9
2.	34,1	32,9	33,2	32,5	33,3	32,5	33,1	32,7	32,8	31,9	32,0	31,2
3.	31,6	28,3	31,7	30,0	31,4	30,3	30,3	30,9	29,1	30,0	25,8	27,0
4.	31,2	31,6	31,4	31,5	31,9	33,1	32,3	31,6	30,8	30,3	31,3	32,4
5.	32,2	27,8	29,8	29,9	30,2	29,5	29,8	29,8	29,6	29,6	29,4	30,0
6.	34,8	29,0	36,1	34,6	35,8	34,3	31,5	32,7	30,2	31,6	28,5	28,6
7.	30,3	27,5	30,0	29,5	29,1	19,0	28,9	29,0	28,0	27,5	28,4	26,7
8.	33,8	27,1	31,4	30,6	31,2	31,2	32,8	32,0	28,4	29,9	28,2	28,1
9.	33,7	29,0	32,4	30,5	33,0	32,6	32,4	31,0	30,5	29,6	29,6	30,0
10.	31,9	27,4	31,7	29,2	30,6	30,1	30,0	30,0	28,9	29,1	24,4	25,6
11.	33,1	30,1	30,7	29,3	29,7	30,0	30,3	30,6	30,3	30,0	31,3	29,5

Gruppe C

Patient

1.	29,6	27,4	29,9	30,0	30,8	30,2	29,7	30,1	29,9	27,5	25,5	25,1
2.	33,4	34,0	34,9	34,6	35,3	34,9	33,1	33,4	32,5	32,4	32,0	31,3
3.	31,3	28,7	29,2	29,8	29,6	30,3	29,6	30,3	28,7	29,2	28,7	28,4
4.	32,8	29,2	31,7	31,2	32,5	32,1	32,7	32,5	30,2	30,4	29,4	29,4
5.	33,6	31,5	33,6	32,5	33,5	33,3	32,9	33,2	31,7	31,9	32,1	32,5
6.	31,0	28,6	30,0	29,9	29,7	30,4	30,6	31,6	29,6	30,5	25,1	27,4
7.	31,3	30,7	30,8	30,9	31,2	31,0	30,5	31,1	31,7	30,9	32,5	32,5

Gruppe D

1.	33,3	30,5	33,1	32,3	32,5	32,5	32,9	33,3	32,1	32,7	31,8	31,8
2.	29,2	28,3	28,1	28,4	28,8	30,0	29,9	29,8	27,4	28,3	27,7	27,0
3.	34,8	29,0	34,7	32,5	33,7	33,4	33,9	34,7	32,3	33,7	30,5	31,7
4.	31,3	28,3	31,6	31,2	31,5	31,1	31,7	32,3	30,2	31,0	27,0	28,0
5.	27,8	27,8	28,7	28,8	30,0	29,8	30,5	29,9	29,2	29,0	28,8	29,0

7. Literaturübersicht

1. Alfidi, R.J., experimental studies to determine applica-
MacIntyre, W.J., tion of cat scanning to the human body.
Meaney, T.F. et al. AM J ROENTGENOL 124, 199, 1975
2. Andersen, P. Capillarity density in skeletal muscle
 of man
 ACTA PHYSIOL SCAND 95, 203, 1975
3. Barbey, K., Plethysmographische Untersuchungen bei
Barbey, P., arteriellen Durchblutungsstörungen der Ex-
Loose, K.E., tremitäten
Terjung, I. DTSCH MED WOCHENSCHR 88, 1556, 1963
4. Barcroft, H. The mechanism of vasodilatation in the limbs
 during and after arrest of the circulation.
 ANGIOLOGY 23, 595, 1972
5. Bartusch, M., Beitrag zur Standardisierung der Venen-
Preuss, E.G., verschlußplethysmographie
Seige, K. Z KARDIOL 63, 4, 1973, S.350 - 7
6. Baumgartl, F., Die Durchblutung von frakturierten Unter-
Gremmel, H., schenkeln während der Heilung anhand von
Willmann, K.H. arteriographischen Untersuchungen.
 ZENTRALBL CHIR 28, 1386, 1958
7. Becker, H.M., Zur Wertigkeit der Dehnungsmeßstreifen-
Klemm, J. stauplethysmographie
 HERZ KREISL 4, 254, 1972
8. Bergqvist, D., Thermographic diagnosis of deep vein
Dahlgren, S., thrombosis.
et al. BR MED J 4, 684, 1975
9. Bergqvist, D., Infrarot-Thermographie bei tiefer Bein-
Efsing, H.O., venenthrombose - eine neue nicht-invasive
Hallböök, T., diagnostische Methode.
et al. VASA 6, 244, 1977
10. Berne, R.M., Cardiovascular Physiology
Levy, M.N. St. Louis, C.V. Mosby, 1972
11. Bethge, K.P., Methodologische Aspekte zur pneumatischen
de Caley, D., Segmentplethysmographie. II. Das Problem der
Barbey, K. Staumanschettenbreite und des Stauman-
 schettendruckes
 Z KARDIOL 64, 636-646, 1975
12. Bollinger, A. Bedeutung der Venenverschlußplethysmogra-
 phie in der angiologischen Diagnostik
 SCHWEIZ MED WOCHENSCHR 41, 95, 1965, 1357 ff

13. Brooks,R.A.,
di Chiro, G. Principles of computer assisted tomography
(cat) in radiographic and radioisotopic
imaging.
PHYS MED BIOL 21, 689, 1976
14. Bulcke,J.A.,
Crolla,D. et al. Computed tomography of muscle
MUSCLE NERV 4, 67-72, 1981
15. Bulcke,J.A.,
Termote,J.L.,
Palmers,Y. et al. Computed tomography of the human sceletal
muscular system
NEURORADIOLOGY 17, 127-36, 1979
16. de Caleyá,D.,
Bethge,K.P.,
Barbey,K. Methodologische Aspekte zur pneumatischen
Segmentplethysmographie. I.Das Problem
der Lagerung und der distalen venösen
Okklusion
Z KARDIOL 64, 625-35, 1975
17. Cardenas,D.,
Stolov,W.C.
Hardy,R. Muscle fiber number in immobilization
atrophy
ARCH PHYS MED REHABIL 58, Oct. 1977
18. Cavalli-Sforza,L. Biometrie - Grundzüge biologisch-medizi-
nischer Statistik
Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart 1972
19. Clarke,R.S.J.,
Mellon,R.F. Venous collection in forearm and hand
measured by the straingauge and volume
plethysmograph.
CLIN SCI 16, 103, 1957
20. Cooke,E.D.,
Pilcher,M.F. Deep vein thrombosis: preclinical diagno-
sis by thermography.
BR J SURG 61, 971, 1974
21. Davies,C.T.M.,
Sergeant,A.J. Effects of exercise therapy on total and
component tissue leg volumes of patients
undergoing rehabilitation from lover limb
injury
ANN HUM BIOL 2, 4, 327-37, 1975
22. Durnin,J.V.G.A.,
Rahaman,M.M. The assessment of the amount of fat in
the human body from measurement of skin-
fold thickness.
BR J NUTR 21, 681-9, 1967
23. Edel,H. Fibel der Elektrodiagnostik und Elektro-
therapie
Verlag Theodor Steinkopf, Dresden, 1977
24. Edgerton,V.R.,
Smith,J.L.,
Simpson,D.R. Muscle fibre type populations of human
leg muscles
HISTOCHEM J 7, 259-66, 1975
25. Edström,L. Selective atrophy of red muscle fibres in
the quadriceps in long-standing knee-joint
dysfunction following injuries to the
anterior cruciate ligament
J NEUROL SCI 114, 551-9, 1970

26. Edström, L.,
Nyström, B. Histochemical types and sizes of fibres
in normal human muscles
ACTA NEUROL SCAND 45, 257-69, 1969
27. Forconi, S. et al. Strain gauge plethysmography in the study
of circulation of the limbs
ANGIOLOGY 30 (7), 487-97, Jul 1979
28. Gambarelli, J.,
Guérinel, G.,
Cnevrot, L.,
Mattéi, M. Computed axial tomography
Springer Verlag 1977
29. Geigy Wissenschaftliche Tabellen, Teilband Sta-
tistik, 8. Auflage, Basel 1980
30. Gildemeister, M, Untersuchungen über die Wirkung der Mittel-
frequenz-Ströme auf den Menschen
PFLUG ARCH 247, 366, 1944
31. Gutmann, J.,
Kachel, V.,
Bründl, G. Vergleichende Messungen mit rheographischen
und plethysmographischen Durchblutungsmeß-
geräten.
Elektromed. Sonderh. 87, 1969
32. Häggmark, T.
et al. Hypotrophy of the soleus muscle in man
after achilles tendon rupture. Discussion
of findings obtained by computed tomography
and morphologic studies
AM J SPORTS MED 7 (2), 121-6, Mar-Apr, 1979
33. Häggmark, T.,
Jansson, E.,
Eriksson, E. Fibre type area and metabolic potential of
the thigh muscle in man after knee surgery
and immobilization
INT J SPORTS MED 2, 12-17, 1981
34. Häggmark, T.,
Jansson, E.,
Svane, B. Cross-sectional area of thigh muscle in
man measured by computed tomography
SCAND J CLIN LAB INVEST 38, 355-60, 1978
35. Hawes, S.B.,
Albert, A.,
Healy, M.J.R.,
Garrow, J.S. A comparison of soft tissue radiography,
reflected ultrasound, skinfold calipers
and thigh circumference for estimating the
thickness of fat overlying the iliac crest
and greater trochanter
PROC NUTR SOC 31, 91A, 1972
36. Hellige, G.
et al. Measurement of arterial and venous reactivity
by advanced strain gauge plethysmo-
graphy
ANGIOLOGY 30 (8), 539-48, Aug 1979
37. Hensel, H. Die Messung der Muskeldurchblutung am
Menschen
KLIN WOCHENSCHR Jg. 34, 45/46, Dec 1956

38. Hermansen, L.,
Wachlova, M. Capillary density of skeletal muscle in welltrained and untrained men
J APPL PHYSIOL 30, 860-3, 1971
39. Hettinger, T. Das Verhalten der Kraft eines trainierten Muskels während und nach mehrtägiger Ruhigstellung.
INT Z ANGEW PHYSIOL 18, 357-60, 1960
40. Hettinger, T. Physiology of Strength.
Springfield (III), Thomas 1961
41. Hillestad, L.K. The peripheral blood flow in intermittent claudication,
ACTA MED SCAND 174, 23, 1963
42. Hoffmann, B. Computertomographische, plethysmographische und anthropometrische Messungen bei Gipsimmobilisation. Untersuchungen am Unterschenkel des Menschen.
Med. Dissertation, LMU München, 1983
43. Hounsfield, G.N. Computerized transverse axial scanning (tomography), Part I. Description of system.
BR J RADIOLOG 46, 1016, 1973
44. Ikai, M.,
Fukunaga, T. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement
INT Z ANGEW PHYSIOL 26, 26-32, 1968
45. Immich, H. Medizinische Statistik
F.K.Schattauer-Verlag, Stuttgart 1974
46. Ingemann-Hansen, T. Lean and fat component of human thigh. The effects of immobilization in plaster and subsequent physical training
et al. SCAND J REHABIL MED 9 (2), 67-72, 1977
47. Ingemann-Hansen, T. Computerized tomographic determination of human thigh components. The effects of immobilisation and subsequent physical training.
et al. SCAND J REHABIL MED 12 (1), 27-31, 1980
48. Jaffe, D.M. et al. Disuse atrophy of skeletal muscle. A morphometric study using image analysis
J NEUROL SCI 35 (2-3), 189-200, Feb 1978
49. Jones, P.R.M. Radiographic determination of leg fat, muscle and bone volumes in young male and female adults.
J PHYSIOL 201, 1-3, P, 1970
50. Jones, P.R.M.,
Pearson, J. Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone in young male and female adults
J PHYSIOL 204, 63, P, 1969

51. Kelleroval,E.,
Delius,W,
et al. Changes in the muscle and skin blood flow following lower leg fracture in man.
ACTA ORTHOP SCAND 41, 249, 1970
52. Kleditzsch,J.,
Lange,A. Die muskelstimulierende Wirkung von nieder- und mittelfrequenten Strömen, isometrischen Spannungs- und aktiven Bewegungsübungen nach Meniskotomie
BEITR ORTHOP TRAUMATOL 26,380-5, 1979
53. Köhler,M.,
Hinger,H.U.,
Zahnov,W. Die Beurteilung der Kompensation bei chronischen Arterienverschlüssen mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Methode und der Venenverschlusplethysmographie
Z KREISLAUFORSCHUNG, 61, 5, 401-12, 1971
54. Kriessmann,A.,
Schmück,L.,
Hildebrand,B.,
Rädler,M. Vergleich apparativer Meßmethoden zur Diagnostik der arteriellen Verschlußkrankheit der unteren Extremität
MÜNCH MED WOCHENSCHR 117, 23, 991-4, 1975
55. Kroese,A.J. The contribution of muscle and skin circulation to reactive hyperemia in the human lower limb
VASA, 6, 1, 9-14, 1977
56. Kroese,A.J. The effect of inactivity on reactive hyperemia in the human calf: a study with strain gauge plethysmography
SCAN J CLIN LAB INVEST 37 (1), 53-8, 1977
57. Kuhnke,E. Volumenbestimmung aus Umfangsmessungen
FOLIA ANGIOL 26, 228, 1976
58. Kuhnke,E. Die Volumenbestimmung entrundeter Extremitäten aus Umfangsmessungen. Eine Analyse der Fehler und die Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung
Z LYMPHOL 2, 35, 1978
59. Kuhnke,E. Methodik der Volumenbestimmung menschlicher Extremitäten aus Umfangsmessungen
PHYSIOTHERAPIE 5, 336-9, 1979
60. Lassen,N.A. Muscle blood flow in normal man and in patients with intermittent claudication evaluated by simultaneous Xenon-133 and Natrium-24 clearances
J CLIN INVEST 43, 1805, 1964
61. Mayer,R.F.
et al. Immobilization and muscle atrophy
TRANS AM NEUROL ASSOC 101, 145-50, 1976
62. Mediaty,G.,
Arnold,C.R. Untersuchungen zur Durchblutung spastisch und schlaff gelähmter Extremitäten mit verschiedenen Methoden
Z PHYS MED 11, 48, 1982

63. Meyers, K. The investigation of peripheral arterial disease by strain gauge plethysmography
ANGIOLOGY 15, 293, 1964
64. Müller, E.A. Influence of training and of inactivity on muscle strength
ARCH PHYS MED REHABIL 8, 449-62, 1970
65. Müller, E.A.,
Hettinger, T. Über Unterschiede der Trainingsgeschwindigkeit atrophierter und normaler Muskeln
Z ARBEITSPHYSIOL 15, 223-30, 1953
66. O'Doherty, D.S.,
Schellinger, D.,
Kaptopoulos, V. Computed tomographic patterns of pseudo-hypertrophic muscular dystrophy: preliminary results
J COMPUT ASSIST TOMOGR 1, 482-4, 1977
67. Patel, A.N.,
Razzak, Z.A.,
Dastur, D.K. Disuse atrophy of human skeletal muscles
ARCH NEUROL 20, 413-21, 1969
68. Patterson, G.C.,
Whelan, R.F. Reaktive hyperemia in human forearm
J CLIN SCI 14, 197, 1955
69. Rachor, B.M.,
Gall, H.,
Schnizer, W. Venenplethysmographische Messungen an den unteren Extremitäten bei Hemiplegikern mit schlaffer Lähmung
Z PHYS MED BALN MED KLIM 11, 463-66, 1982
70. Ralston, H.J.,
Feinstein, B.,
Inman, V. Rate of atrophy in muscles immobilized at different lengths
FED PROC 11, 127, 1952
71. Rasch, P.J.,
Morehouse, L.E. Effect of static and dynamic exercise on muscular strength and hypertrophy
J APPL PHYSIOL 11, 29-34, 1957
72. Rose, D.L.,
Radzyminski, S.F.
Beatty, R.R. Effect of brief maximal exercise on the strength of the quadriceps femoris
ARCH PHYS MED 38, 157-64, 1957
73. Rosemeyer, B.,
Stuerz, H. Musculus quadriceps femoris bei Immobilisation und Remobilisation
Z ORTHOP GRENZGEB 115/2 182-88, 1977
74. Rosemeyer, B.,
Stuerz, H. Einfluß der Gipsimmobilisation auf die Knie-streckmuskulatur
Z KRANKENGYMNASTIK 30, 5, 196-200, 1978
75. Rudofsky, G.,
Gutmann, J. Venenverschuß-Plethysmographie
Münasburger Berichte zu Themen der Angiologie und Kardiologie, 1979
76. Rudofsky, G.,
Nobbe, Brock Venenverschuß-Plethysmographie
DIAGNOSTIK 10, 24, 1977

77. Sergeant, A.J.
et al. Functional and structural changes after disuse of human muscle
CLIN SCI MOL MED 52, 4, 337-42, Apr 1977
78. Solandt, D.Y.,
Partridge, R.C.,
Hunter, J. Effect of skeletal fixation on skeletal muscle
J NEUROPHYSIOL 6, 17-22, 1943
79. Staudte, H.W.,
Brussatis, F. Selective changes in size and distribution of fibre types in vastus muscle from cases of different knee joint affections
Z RHEUMATOL 36, 5/6, 143-60, 1977
80. Stechele, F. Die Auswirkung einer dreiwöchigen Extremitätenimmobilisation auf die Muskulatur und deren Gefäßversorgung und die Möglichkeit einer Prevention der Schädigung durch eine gleichzeitig erfolgende Elektrophysiotherapie. Untersuchungen am "roten" m. soleus der Ratte
Med. Dissertation, LMU München, 1982
81. Stein, I.D. A medical appraisal of therapy for occlusive arterial disease
ANGIOLOGY 15, 188, 1964
82. Stephens, D.H.,
Sheedy, P.F.,
Hattery, R.R.,
Hartman, G.W. Initial clinical experience with computerized tomography of the body
RADIOLOG CLIN NORTH AM 14, 149, 1976
83. Stoboy, H.,
Friedebold, F.,
Strand, F.L. Evaluation of the effect of isometric training in functional and organic muscle atrophy
ARCH PHYS MED 49, 508-14, 1968
84. Stören, G. Calf volume changes during postischemic hyperemia in normal and arteriosclerotic legs
SCAND J CLIN LAB INVEST 20, 147, 1967
85. Stulcova, B.,
Hudlicka, O. Changes in total vascular volume and capillary bed in rat skeletal muscle undergoing atrophy
PHYSIOLOGIA BOHEMOSLOV 16, 456, 1967
86. Summers, T.B.,
Hines, H.M. Effect of immobilisation in various positions upon the weight and strength of skeletal muscle
ARCH PHYS MED 32, 142, 1951
87. Tomanek, R.J.,
Lund, D.D. Degeneration of different types of skeletal muscle fibres, II. Immobilization
J ANAT 118, 3, 531-41, 1974
88. Überla, K. Biomathematik
ISB München 1976

89. Vannotti,A.,
Magiday,M. Untersuchungen zum Studium des Trainiert-
seins. Über die Kapillarisierung der trai-
nierten Muskulatur.
Z ARBEITSPHYSIOL 7, 615, 1934
90. Waldeyer,A. Anatomie des Menschen, 12.Auflage, Teil 1
de Gruyter Verlag, Berlin, 1975
91. Whitney,R.J. The measurement of volume changes in human
limbs
J PHYSIOL 121, 1, 1953
92. Zohn,D.A.,
Leach,R.E.,
Stryker,W.S. A comparison of isometric and isotonic
exercise of the quadriceps after injuries
of the knee
ARCH PHYS MED 45, 571-74, 1964

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Dr. med. I. Magyarosy, Klinik für Physikalische Medizin der Universität München, danken, der diese Arbeit initiiert hat und ihr auch während des Fortgangs stets neue Impulse zu geben vermochte.

Herrn Prof. Dr. med. H. Drexel, Klinik für Physikalische Medizin der Universität München,

Herrn Prof. Dr. med. W. Schnizer, Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München,

Herrn Dr. med. B. M. Racher,

Herrn Dipl.-Phys. H. Gall,

Frau Dr. med. E. Huber, alle an der Klinik für Physikalische Medizin der Universität München,

sage ich meinen Dank für die freundliche Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. med. J. Lissner und

Herrn Dr. med. W. Bauer, Radiologische Klinik und Poliklinik im Klinikum Großhadern, sowie

Herrn Prof. Dr. med. M. Jäger und

Herrn Prof. Dr. med. K. Matzen, Orthopädische Klinik im Klinikum Großhadern,

danke ich dafür, daß sie die fachübergreifende Zusammenarbeit ermöglicht haben.

Lebenslauf

- | | |
|--------------------|---|
| 10. November 1956 | Geburt als zweiter Sohn des Kaufmanns Kurt Heinz und seiner Ehefrau Margit, geb. Heger, in Salzberg bei Berchtesgaden |
| 1963 - 1967 | Volksschule Schönaun-Unterstein |
| 1967 - 1976 | Neusprachliches Gymnasium Berchtesgaden |
| Jul. 76 - Apr. 77 | 10 Monate Wehrdienst |
| Mai 1977 | Beginn des Medizinstudiums an der Ludwig-Maximilians-Universität München |
| November 1983 | Abschluß des Medizinstudiums mit dem 3.Staatsexamen und Erteilung der Approbation als Arzt |
| März 84 - Sept. 84 | 6 Monate Zivildienst am Kreiskrankenhaus München-Pasing |
| seit Okt. 84 | Assistenzarzt an der 1.Medizinischen Abteilung im Kreiskrankenhaus München-Pasing |

